

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y  
PETRÓLEOS**

**CARTOGRAFÍA DE FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA  
DEL VALLE DE LA ARMENIA, PROVINCIA DE  
CHIMBORAZO**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERA GEÓLOGA**

**OPCIÓN: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**PAOLA ALEXANDRA PAUCAR IZA**

**[paola.paucar@epn.edu.ec](mailto:paola.paucar@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: PhD. PEDRO SANTIAGO REYES BENÍTEZ**

**[pedro.reyes@epn.edu.ec](mailto:pedro.reyes@epn.edu.ec)**

**Quito, octubre 2022**

# DECLARACIÓN

Yo Paola Alexandra Paucar Iza, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



---

Paola Alexandra Paucar Iza

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paola Alexandra Paucar Iza, bajo mi supervisión.



---

**PhD. Pedro Reyes Benítez**  
**Director del Proyecto**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios y la Virgen del quince por bendecirme y darme la fuerza para seguir adelante y no rendirme ante las dificultades que se presentaron, y por permitirme cumplir una meta más a lo largo de mi vida.

Agradezco a mis padres quienes me han apoyado en todo momento a lo largo de esta etapa universitaria, gracias por inculcarme los mejores valores y principios que han hecho de mi la persona que soy hoy en día. A mi padre, por enseñarme el valor del esfuerzo y trabajo que realiza día a día. A mi madre, por su paciencia y tenacidad de salir adelante siempre.

A toda mi familia que siempre me dio una palabra de apoyo y en especial a mi prima Dayana quien estuvo para escucharme y brindarme siempre un abrazo, un consejo en los momentos más difíciles.

Al Dr. Pedro Reyes por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto de investigación, por el tiempo y apoyo recibido de su parte.

Quiero agradecer en especial a la Ing. Alexandra Orozco por su paciencia y sobre todo por haberme apoyado desde el primer día y por haber compartido sus conocimientos para la realización de este presente trabajo.

Y finalmente a mis amigos de la facultad Tati, Carlitos, Bryan y Diego que estuvieron desde un comienzo gracias por su amistad y por compartir risas, consejos y experiencias a lo largo de toda esta etapa, sin ustedes no hubiera sido lo mismo.



# DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen del Quinche

A mis queridos padres Homero y Rosario que son el pilar de mi vida, sin ellos y su apoyo no hubiera logrado cumplir esta meta.

A mi hermanos y familia con quienes he compartido grandes momentos.

# TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 .....	1
1.INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES .....	1
1.2. OBJETIVOS .....	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3 ALCANCE .....	3
1.4 METODOLOGÍA .....	5
1.4.1 Recopilación de información .....	5
1.4.2 Cartografía de los movimientos en masa .....	6
1.4.3 Análisis de susceptibilidad frente a movimientos en masa .....	7
1.4.4 Trabajo de campo .....	7
1.5 DESCRIPCIÓN ÁREA DE ESTUDIO .....	8
1.5.1 Ubicación y Acceso .....	8
1.5.2 Clima y vegetación .....	9
1.5.3 Rasgos Morfológicos .....	9
1.5.4 Uso de suelo .....	10
1.6 Trabajos anteriores .....	11
CAPÍTULO 2 .....	14
2.1 MARCO GEODINÁMICO .....	14
2.2 GEOLOGÍA REGIONAL .....	15
2.3 GEOLOGÍA LOCAL .....	17
2.3.1 Litologías y depósitos cuaternarios .....	17

2.5 DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	18
CAPÍTULO 3.....	23
3.1 CARTOGRAFÍA DE MOVIMIENTOS EN MASA .....	23
3.1.1 Movimientos en masa .....	23
3.1.2 Clasificación de los movimientos en masa .....	24
3.2 CARACTERÍSTICAS UTILIZADAS PARA EL RECONOCIMIENTO DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.....	30
3.3 FACTORES CONDICIONANTES Y DESCENCADENANTES PARA LOS MOVIMIENTOS EN MASA.....	36
3.3.1 Factores condicionantes .....	36
3.3.2 Factores desencadenantes .....	38
3.4 ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS EN MASA.....	39
CAPÍTULO 4.....	42
4.1 DESCRIPCIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA .....	42
4.1.1 Zona Alta de Chunchi.....	43
4.1.2 Zona baja de Chunchi .....	47
4.1.3 Sector valle de La Armenia .....	49
4.1.4 Deslizamiento de la Armenia.....	51
CAPÍTULO 5.....	57
5.1 SUSCEPTIBILIDAD FRENTE A MOVIMIENTOS EN MASA.....	57
5.2 METODOLOGÍA DE BRABB.....	58
5.2.1 Mapa cartográfico de los movimientos en masa.....	59
5.2.2 Mapa de pendientes.....	60
5.2.3 Mapa de Litología.....	65
5.3 Mapa de susceptibilidad.....	68
CAPÍTULO 6.....	70

6.1 DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN.....	70
6.1.1 Análisis de cartografía de movimientos en masa.....	70
6.1.2 Análisis mapa de susceptibilidad.....	78
CAPÍTULO 7.....	80
7.1 CONCLUSIONES .....	80
7.2 RECOMENDACIONES .....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	82
8. ANEXOS.....	87
8.1 ANEXO I. Fotografías Aéreas .....	87
8.2 ANEXO II. Tabla de los datos de Granulometría .....	94
8.3 ANEXO III. Mapa de Ubicación de muestras de la granulometría .....	95
8.4 ANEXO IV. Fotografías del proceso de granulometría .....	96

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Mapa de la zona de estudio. En el rectángulo rojo indica la zona de estudio, correspondiente a un área de 10.6 km <sup>2</sup> , en amarillo se observa el deslizamiento de La Armenia .....	4
<b>Figura 1.2</b> Esquema del diseño metodológico .....	5
<b>Figura 1.3</b> Mapa de la Provincia de Chimborazo. Ubicación de Cantón Chunchi, al sur de la provincia de Chimborazo .....	8
<b>Figura 1.4</b> Esquema del uso del suelo. Se describe cada uso del suelo del cantón Chunchi (GAD Municipal, 2014).....	11
<b>Figura 2.1</b> Configuración tectónica que muestra las fallas principales, movimientos relativos de las placas según datos de GPS y el modelo cinemático global NUVEL-1 (Gutsher et al., 1999) .....	15
<b>Figura 2.2</b> Divisiones de regiones o dominios ene general del Ecuador (Drobe et al., 2013).....	16
<b>Figura 2.3</b> Falla de Pallatanga; sección central 50b y sección sur 50c (flecha roja) y la Falla Guamote (Flecha azul) .....	18
<b>Figura 2.4</b> En la zona de estudio se destacan 3 zonas como son: Zona I, Zona II y Zona III.....	19
<b>Figura 2.5</b> Lineamientos. Se identificó en la zona de estudio estructuras geológicas como son dos lineamientos: A) Lineamiento 1: Se observas las líneas entre cortadas de color rojo que indican el lineamiento del Río Chan Chán B) Lineamiento 2: Se observa las líneas entrecortadas negras que indican el lineamiento del río Picay.	21
<b>Figura 2.6</b> Triángulos segmentados. Se observa las facetas triangulares (flechas negras) a lo largo del lineamiento del río Chanchán (Línea roja). (Google Earth Pro, 2022).....	22

<b>Figura 2.7</b> Alineación de movimientos en masa. Se observa que la dirección (flechas rojas) de los deslizamientos van hacia el lineamiento del río Picay (línea negra). (Google Earth Pro, 2022).....	22
<b>Figura 3.1</b> Caída de rocas. Fuente: (Suarez, 1998).....	25
<b>Figura 3.2</b> Tipos de volcamiento: a) volcamiento de bloques; b) volcamiento flexural (GEMMA, 2007).....	25
<b>Figura 3.3</b> Deslizamiento rotacional, movimiento de la masa (Suarez, 1998).....	26
<b>Figura 3.4</b> Deslizamiento traslacional (Suarez, 1998).....	27
<b>Figura 3.5</b> Imagen de cómo se observa un flujo. Fuente : (Alcántara, 1999).....	27
<b>Figura 3.6</b> Clasificación de tipos de flujo. Fuente: (IGME, 1987).....	28
<b>Figura 3.7</b> Avalancha en cauce de río por acumulación de materiales producto de una gran cantidad de deslizamientos ocurridos (GEMMA, 2007).....	29
<b>Figura 3.8</b> Reptación superficial en una ladera, se observa como la reptación afecta a los arboles.....	29
<b>Figura 3.9</b> Presencia de formas cóncavas. Se observa en las zonas señaladas de amarillo las formas cóncavas y medias lunas que representan a los deslizamientos. (Google Earth Pro, 2022).....	31
<b>Figura 3.10</b> Reptación. En la zona señalada con rojo se puede observar formas como guirnaldas en el suelo lo que representa la reptación (Google Earth Pro, 2022). .....	31
<b>Figura 3.11</b> Se observa uno o más escarpes (amarillo), las flechas rojas indican las pendientes abruptas, la flecha azul indican las zonas con ausencia de cobertura vegetal (Google Earth Pro, 2022).....	32
<b>Figura 3.12</b> Se observa la terraza de Chunchi (rojo) la cual posee una pendiente abrupta (flecha celeste) y dentro de toda esta parte se puede observar formas alargadas señaladas con amarillo que representan deslizamientos (Google Earth Pro, 2022). .....	32

<b>Figura 3.13</b> Características de reconocimiento para movimientos en masa activos e inactivos (Crozier, 1986) .....	34
<b>Figura 3.14</b> Características movimientos inactivos. Se observar deslizamientos con escarpes suavizados (amarillos). Zonas que indican superficies con cobertura vegetal las cuales se encuentran en el deslizamiento (flecha azul). No se observa grietas en las zonas de los deslizamientos. (Google Earth Pro, 2022) .....	35
<b>Figura 3.15</b> Factores condicionantes ((INDECI, 2011) .....	36
<b>Figura 3.16</b> Factores desencadenantes. (INDECI, 2011) .....	38
<b>Figura 3.17</b> Movimientos en masa de la zona de estudio escaneado para crear la cartográfica en el software QGIS. ....	41
<b>Figura 4.1</b> Clasificación del área de estudio en 4 zonas: Zona alta de Chunchi, Zona baja de Chunchi, Sector Valle de La Armenia, Deslizamiento tipo rotacional La Armenia que presenta una dirección de movimiento SW .....	43
<b>Figura 4.2</b> Pendientes abruptas (mayo,2021). Flechas rojas indican pendientes con un alto grado de inclinación en la zona del Sector Valle de la Armenia. (Paucar,2021) .....	56
<b>Figura 5.1</b> Trazo de polígonos para reconocer los movimientos en masa de la zona de estudio (Google Earth Pro, 2022).....	59
<b>Figura 5.2</b> Mapa de pendientes. En la zona de estudio se identificó 5 rangos de pendientes: muy baja, baja, mediana, alta y muy alta. ....	62
<b>Figura 5.3</b> Cuadros de diálogo de la reclasificación por tabla en el programa QGIS 3.24.3.....	63
<b>Figura 5.4</b> Mapa de pendientes en QGIS 3.24.3 con los valores de la reclasificación por rango de pendientes .....	64
<b>Figura 5.5</b> Mapa de litologías del sector valle de la Armenia .....	66
<b>Figura 5.6</b> Mapa de susceptibilidad. En la zona de estudio se observa rangos de susceptibilidad de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto .....	69

<b>Figura 6.1</b> Cartografía de movimientos en masa 1989. Se observa en el mapa los movimientos en masa existentes en la zona hace aproximadamente 20 años atrás. .....	72
<b>Figura 6.2</b> Cartografía de movimientos en masa actual 2022. Se observa en la zona se estudio movimientos en masa actuales (negro) y movimientos en masa antiguos (amarillo).....	73
<b>Figura 6.3</b> Se observa que los movimientos en masa actuales se producen sobre los depósitos cuaternarios y los movimientos en masa antiguos.....	74
<b>Figura 6.4</b> Material ubicado en el cuerpo del deslizamiento de La Armenia (Paucar, 2021).....	75
<b>Figura 6.5</b> Lineamientos en la zona d estudio. a) Lineamiento del río Chanchan b) lineamiento del río Picay .....	76
<b>Figura 6.6</b> Ubicación de zonas de agua empozada.....	77
<b>Figura 6.7</b> Las zonas de susceptibilidad alta concuerdan con la ubicación de los deslizamientos en masa actuales incluido el macrodeslizamiento la Armenia, que bordean a lo largo y en dirección del rio Picay. ....	79



## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 3.1</b> Características de un movimiento activo. Se observa el macrodeslizamiento de La Armenia en el cual se puede observar: a) Los escarpes presentan ejes abruptos (rojo) b) las zonas como las que indican la flecha amarilla se observa ausencia de vegetación c) Diferente formas de textura, forma y vegetación se observa zonas con vegetación y otras solo suelo (flechas negra y amarilla), también hay zonas planas, pero también zonas levantadas (círculos azules). (Orozco, 2022).....	35
<b>Fotografía 3.2</b> Factores geológicos. a) Se observa en el cuerpo del macrodeslizamiento de La Armenia arcilla muy meteorizada b) Material poco consolidado y resistente.....	37
<b>Fotografía 3.3</b> Factores geomorfológicos. a) El Sector valle de la Armenia (mayo de 2021) se observa zonas montañosas con pendientes inclinadas b) Cantón Chunchi se puede observar que se localiza en una zona con un relieve montañoso acompañados de pendientes bastantes abruptas (flecha roja).....	37
<b>Fotografía 3.4</b> Piscina de oxidación (mayo, 2021). Ubicada en la mitad del talud en las coordenadas UTM (730199, 9747052), se utiliza para la acumulación de aguas residuales de la zona. ....	39
<b>Fotografía 3.5</b> Estereoscopio. Aparato que permite ver imágenes en 3D, se utilizó para el reconocimiento de los movimientos en masa con ayuda de las fotos aéreas obtenidas del Instituto Geográfico Militar.....	40
<b>Fotografía 4.1</b> Corona de deslizamiento. a) Se observa la corona del deslizamiento antiguo con cubierta vegetal b) Presencia de reptación se puede observar la forma de guirnaldas a lo largo del terreno c) Abobamientos en el terreno.....	44
<b>Fotografía 4.2</b> Depósito de tobas. Tobas de colores claros pero amarillentas por la alta meteorización, en la imagen de la izquierda se observa el cuarteamiento que presenta el depósito debido a la arcilla, deposito poco competente y fácil de romper. UTM (734013 / 9747993) .....	45

<b>Fotografía 4.3</b> Tobas. a) Deposito de tobas de color gris oscuro UTM (734055 / 9747739) b) Deposito de tobas silificadas que son porosas y bastantes competentes y difíciles para romper UTM (731384 / 9746619). .....	46
<b>Fotografía 4.4</b> a) Bloques métricos al largo de los caminos b) deslizamientos pequeños en los bordes de los caminos c) mineras artesanales de áridos UTM (731490 / 9747321).....	47
<b>Fotografía 4.5</b> Deslizamientos rotacionales al frente de la terraza de Chunchi, tienen una dirección de S-N hacia el río Picay .....	47
<b>Fotografía 4.6</b> a) Bloques de hasta 1 m muy competente y difícil de romper b) Depósito de toba amarillenta café muy meteorizada debido al agua ya que se encuentra cerca de una vertiente UTM (732219, 9745749) .....	49
<b>Fotografía 4.7</b> a) Brechas, tobas y andesitas de diversos colores y tamaños b) cárcavas o zonas de erosión donde ese están dando desprendimientos. UTM (729526 / 9747610).....	50
<b>Fotografía 4.8</b> Zonas inestables a) Levantamiento del terreno en forma escalonada b) Grietas a lo largo del terreno. UTM (730130 / 9747899) .....	50
<b>Fotografía 4.9</b> Pie del deslizamiento La Armenia. a) Terraza del río Picay con una altura aproximada de 8 m b) Terraza del río Picay del año 2020.....	52
<b>Fotografía 4.10</b> Depósitos coluviales con porciones de material fino como la arcilla en el pie del macrodeslizamiento La Armenia. UTM (728845 / 9747100).....	52
<b>Fotografía 4.11</b> Deslizamiento la Armenia. a) Arcilla clástica y bastante deleznable b) Cubierta vegetal en el cuerpo del deslizamiento c) nueva red de drenaje d) Grietas de desecación UTM (729918 / 9747117). .....	53
<b>Fotografía 4.12</b> Vista frontal de los frentes de comportamientos del deslizamiento la Armenia. a) frente izquierdo b) frente centro c) frente derecho. ....	54
<b>Fotografía 4.13</b> Material poco consolidado en el cuerpo del deslizamiento de la Armenia (Paucar,2021) .....	56
<b>Fotografía 4.14</b> Grietas. Presencia de grietas en el suelo del sector Valle de la Armenia (diciembre, 2021).....	56

**Fotografía 6.1** Destrucción y pérdida de las calles en el sector valle de La Armenia  
..... 71

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Coordenadas UTM de la zona de estudio .....	4
<b>Tabla 3.1</b> Fotografías aéreas del año 1989 y 1988 adquiridas del Instituto Geográfico Militar (IGM) utilizadas para la fotointerpretación de los movimientos en masa en el cantón Chunchi.....	40
<b>Tabla 5.1</b> Tabla de valores de reclasificación de los tipos de movimientos en masa .....	60
<b>Tabla 5.2</b> Clasificación de Pendientes según Suárez 2009 .....	61
<b>Tabla 5.3</b> Tabla de valores de reclasificación para las pendientes.....	64
<b>Tabla 5.4</b> Tabla de valores de la reclasificación de cada una de las litologías .....	67

## RESUMEN

Los fenómenos de remoción en masa o movimientos en masa son amenazas recurrentes y destructivas que, a lo largo del tiempo han causado diversos desastres, afectando a la población con daños en la infraestructura y pérdidas humanas. Esta investigación se desarrolla en el sector Valle de La Armenia que está ubicado en el cantón Chunchi al sur de la Provincia de Chimborazo, zona que presenta una morfología de altos relieves que en su mayoría son pendientes de media a muy altas ( $16.7^{\circ}$  hasta  $71.63^{\circ}$ ), compuesta de tobas finas claras/oscuras y depósitos cuaternarios como los coluviales, en su mayoría bastante meteorizados que están dando lugar a la formación de arcilla, provocando que el área de estudio sea una zona inestable y propensa para movimientos en masa. Con la ayuda de la fotogeología y fotografías aéreas del IGM, 1989 y el software Google Earth Pro para el año 2022, se identificaron 13 movimientos en masa antiguos y 24 movimientos en masa actuales incluyendo del tipo desprendimiento, reptación y también rasgos de erosión hídrica como cárcavas.

Con la comparación de los mapas cartográficos de 1989 y 2022 se observó que los deslizamientos antiguos mantienen sus rasgos hasta la actualidad, mientras que los movimientos actuales se distribuyen principalmente hacia los bordes del río Picay, desarrollándose sobre la formación Cisarán y los depósitos coluviales. El deslizamiento de La Armenia es el cambio morfológico más relevante debido a su extensión. El factor detonante de los movimientos en masa es la lluvia, debido que la zona de estudio presenta importantes precipitaciones a lo largo de todo el año según SNGRE,2021; incrementando la infiltración de agua en el suelo y la aceleración de meteorización del material lo cual disminuye la resistencia del medio, desestabilizando la topografía.

El análisis de susceptibilidad preliminar con el método de Brabb en el cual utilizó la cartografía de movimientos en masa, el mapa de pendientes y el mapa de litología; identificó que las zonas de deslizamientos antiguos presentan susceptibilidad media mientras que las zonas de los deslizamientos actuales presentan alta y muy alta susceptibilidad.

## ABSTRACT

Mass removal phenomena or mass movements are recurring and destructive threats that, over time, have caused various disasters, affecting the population with damage to infrastructure and human losses. This research is carried out in the Valle de La Armenia sector, which is located in the Chunchi canton to the south of the Province of Chimborazo, an area that presents a morphology of high reliefs that are mostly medium to very high slopes ( $16.7^{\circ}$  to  $71.63^{\circ}$ ), composed of light/dark fine tuffs and Quaternary deposits such as colluvial deposits, mostly quite weathered that are giving rise to the formation of clay, causing the study area to be an unstable area and prone to mass movements. With the help of IGM photogeology and aerial photographs, 1989 and Google Earth Pro software for the year 2022, 13 ancient landslides and 24 current landslides were identified, including landslides, creeps, and water erosion features such as gullies.

With the comparison of the cartographic maps of 1989 and 2022, it was observed that the old landslides maintain their features up to the present, while the current movements are distributed mainly towards the edges of the Picay River, developing on the Cisarán formation and colluvial deposits. The La Armenia landslide is the most relevant morphological change due to its extension. The triggering factor for mass movements is rain because the study area has significant rainfall throughout the year according to SNGRE, 2021; increasing the infiltration of water into the soil and the acceleration of weathering of the material which decreases the resistance of the medium, destabilizing the topography.

The preliminary susceptibility analysis with the Brabb method in which the cartography of mass movements, the slope map and the lithology map were used; identified that the old landslide zones present medium susceptibility while the current landslide zones present high and very high susceptibility.

# CAPÍTULO 1

## 1.INTRODUCCIÓN

### 1.1 JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES

El cantón Chunchi ubicado en la Provincia de Chimborazo presenta una morfología de zonas de ladera con pendientes bastante inclinadas, material poco consolidado presentando condiciones favorables para la inestabilidad de los terrenos. En base en el registro de eventos peligrosos de origen natural realizado por el Servicio de Emergencias y Riesgos (SNGRE) en el periodo del 2010 y 2019 en el cantón Chunchi se observa que alrededor de un 44,03% de los eventos corresponden a deslizamientos, hundimientos o socavamientos, por esta razón se posiciona a los fenómenos de remoción en masa como la amenaza más recurrente en el cantón Chunchi haciéndola así una zona de riesgo para su población (SNGRE, 2021d).

Según el estudio de planificación 2014 para el cantón Chunchi (GAD Municipal, 2014), el cantón cuenta con una ordenanza municipal ineficiente, acentuando el descontrol del crecimiento urbano, lo que incide en el desconocimiento y falta de planificación por parte de la comunidad, la cual no está preparada para afrontar las consecuencias después de cualquier amenaza geológica como son los movimientos en masa.

El 12 de febrero de 2021 ocurrió un macro deslizamiento en el Sector del Valle de La Armenia, este evento afectó aproximadamente 114,35 hectáreas, lo cual dejó pérdidas que en su mayoría fueron bienes materiales como la destrucción de 30 viviendas, un vía pública y dejó 166 personas damnificadas (SNGRE, 2021a). La magnitud de este desastre alarmó a la población debido a la inestabilidad que dejó el deslizamiento en el sector y en las áreas cercanas a éste, ya que en un futuro cercano o lejano podría ocurrir nuevos movimientos en masa que perjudiquen nuevamente a la comunidad.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo principal la elaboración de la cartografía de los fenómenos de remoción en masa, en este se presentan los diferentes movimientos en masa antiguos y recientes, incluyendo al reciente macro deslizamiento sucedido en el Valle de La Armenia, cuyo desencadenamiento, habría expuesto a una nueva inestabilidad hacia las zonas aledañas. Esta información generada será útil para el cantón Chunchi para futuras obras de construcción civil y reformas en el ordenamiento territorial, favoreciendo a la comunidad a evitar posibles riesgos futuros relacionados con los deslizamientos, pues completa también el análisis de los factores que podrían incidir en la producción de nuevos movimientos en masa.

El mapa de susceptibilidad del área del Valle de la Armenia se realizó a través de la cartografía de movimientos en masa, mapa de pendientes y la revisión de las litologías, permitiendo la obtención de un mapa actualizado, en éste se mostrarán de manera más precisa, las zonas críticas de mayor y menor ocurrencia de eventos como son los movimientos en masa. El mapa sectorizará zonas de susceptibilidad baja, media y alta, acorde a la metodología de Brabb, frente a futuros riesgos de movimientos en masa.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una cartografía de fenómenos de remoción en masa del valle de La Armenia, Provincia de Chimborazo a través de un estudio fotogeológico.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar información bibliográfica y datos geológicos de la zona del valle de La Armenia.
- Caracterizar de forma general las principales unidades litológicas de basamento y relleno cuaternario para compararlas con los sectores de mayor producción de movimientos en masa.



- Cartografiar los movimientos en masa antiguos y actuales del valle de La Armenia, Provincia de Chimborazo, para evaluar los cambios que se han producido en la morfología a lo largo del tiempo.
- Efectuar el análisis de susceptibilidad del valle La Armenia frente a fenómenos de remoción en masa, para determinar posibles zonas críticas de mayor recurrencia de eventos.

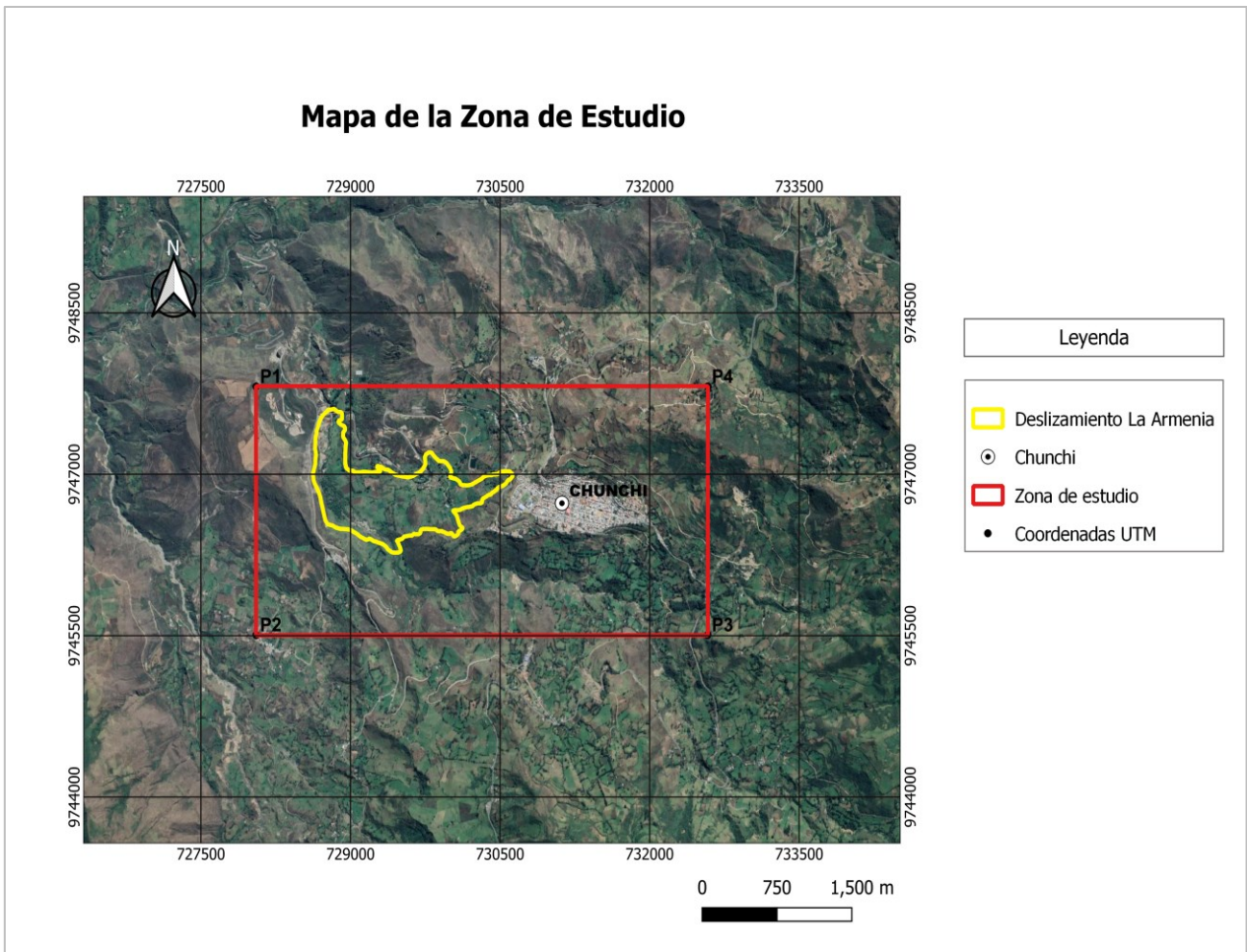
### **1.3 ALCANCE**

La cartografía de fenómenos de remoción en masa o movimientos en masa se realizó a una escala 1:25 000, correspondiente a un área aproximada de 10.6 km<sup>2</sup> (Figura 1.1), comprendidos dentro de cuatro puntos de geolocalización con sus respectivos coordenadas UTM como se puede observar en la Tabla 1.1.

El reconocimiento de los movimientos en masa se elaboró a partir de un estudio fotogeológico, apoyado en la información del software libre Google Earth Pro, fotografías aéreas proporcionadas por el Instituto Geográfico Militar (IGM), observaciones de campo que permitieron reconocer de manera directa los movimientos en masa en la zona, DEM elaborados a partir de las curvas de nivel disponibles en el portal oficial del IGM, recopilación preliminar y observaciones obtenidas por los trabajos realizados por las estudiantes Ana Andrade y Grace Barrera, quienes también trabajaron en las zonas de estudio sobre los depósitos cuaternarios e hidrogeología respectivamente.

El mapa de susceptibilidad se efectuó a escala 1:25 000 en la misma área, bajo la metodología de Brabb, el cual utilizará el análisis de tres mapas como son: el mapa de litologías, mapa de cartografía de movimientos en masa y el mapa de pendientes.

Los resultados obtenidos del presente trabajo permitieron conocer las zonas más y menos propensas a futuros movimientos en masa, para que así la población pueda evitar pérdidas económicas y humanas a futuro.



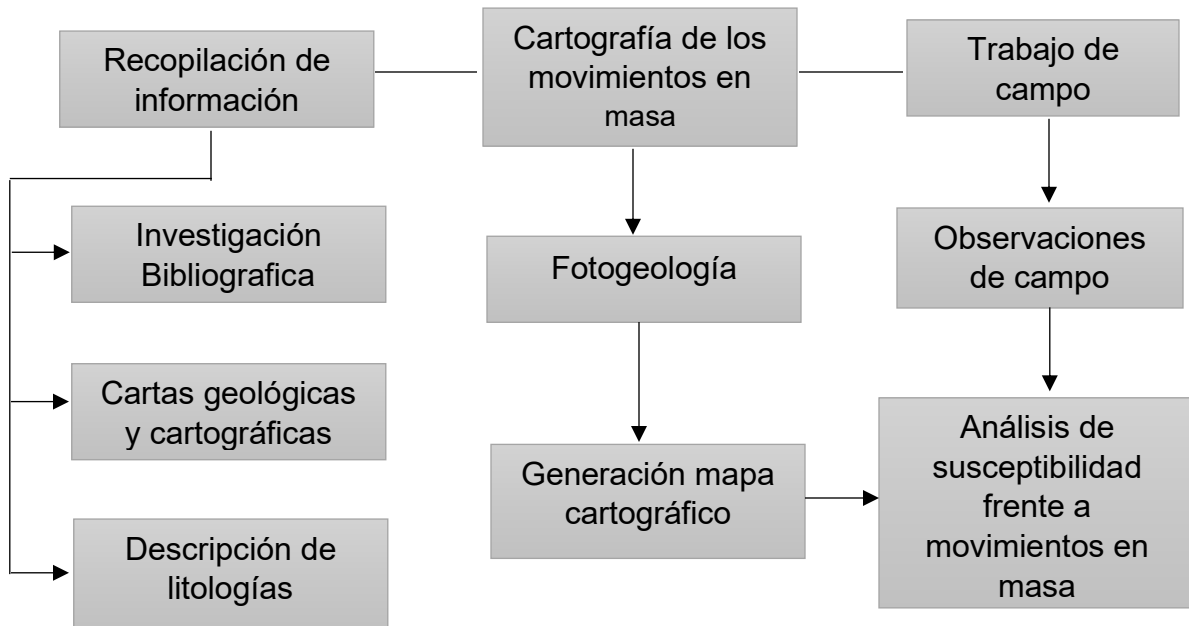
**Figura 1.1** Mapa de la zona de estudio. En el rectángulo rojo indica la zona de estudio, correspondiente a un área de 10.6 km<sup>2</sup>, en amarillo se observa el deslizamiento de La Armenia

PUNTOS	X	Y
P1	728053	9747814
P2	728053	9745505
P3	732583	9745505
P4	732583	9747814

**Tabla 1.1** Coordenadas UTM de la zona de estudio

## 1.4 METODOLOGÍA

Para llegar al alcance de los objetivos planteados, se realizó una serie de pasos como se observa en la figura 1.2



**Figura 1.2** Esquema del diseño metodológico

### 1.4.1 Recopilación de información

Se realizó una recopilación bibliográfica digital de informes del Servicio de Gestión de Riesgos y Emergencia (SNGRE), del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Chunchi elaborado por el GAD municipal del cantón, hojas cartográficas y geológicas del sector a escala regional proporcionados por el Instituto Geográfico Militar (IGM), literatura científica y trabajos preliminares como estudios de ordenamiento territorial del cantón Chunchi, hojas geológicas e informes de la secretaria de riesgo; también los modelos de elevación digital (con sus siglas en inglés, DEM, Digital Elevation Model) disponibles en el IGM que ayudarán a obtener información regional y local vinculada al macro deslizamiento del Sector valle de La Armenia. Esta información incluyó datos sobre litologías, rasgos

estructurales, movimientos en masa y geomorfología. Se obtuvo información de los trabajos realizados por Ana Andrade y Grace Barrera quienes también trabajaron en la zona de estudio.

- **Descripción de litología**

Recopilación de información preliminar y observaciones de campo en donde se reconoció las diferentes litologías existentes dentro de la zona de estudio. Con el uso de mapas ya existentes donde se diferencian e identifican las litologías como el mapa geológico de Alausí (INIGEMM, 2015) que tiene la base de datos del Instituto Geográfico Militar (IGM).

#### **1.4.2 Cartografía de los movimientos en masa**

En este estudio se realizó la comparación de la cartografía de movimientos en masa de los años: 1989 y fotografías actuales de 2022 de la misma zona para analizar el cambio y evolución de los movimientos en masa del área, para identificar cuáles serían las posibles causas y características que a través del tiempo ha provocado la aparición frecuente de los fenómenos de remoción en masa

Esta caracterización de los movimientos en masa se basó en el análisis a través del estudio fotogeológico con 9 fotografías aéreas adquiridas en el Instituto Geográfico Militar (IGM) del año 1989 y del software libre Google Earth Pro el cual permitió identificar y señalar los movimientos en masa que existen dentro de la zona de estudio recientes, al igual que los rasgos estructurales y morfológicos de los movimientos en masa como los escarpes principales de los deslizamientos. También el trabajo de campo contribuyó con el desarrollo de esta actividad, por medio de la identificación y observación de los movimientos en masa recientes y antiguos en la zona mismo.

- **Generación de mapa cartográfico**

Las imágenes aéreas para los mapas cartográficos son de gran importancia y ayuda frente al estudio de riesgos naturales como son los deslizamientos, y representan una herramienta importante para la generación de mapas. Para la realización de la

cartografía de movimientos en masa se usó un programa de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como es el software libre QGIS 3.24.3 en el cual se delimito la zona utilizando shapes obtenidos del Instituto Geográfico Militar (IGM) además de ello se utilizó la cartografía obtenida del estudio fotogeológico y las imágenes libre de Google Earth Pro para digitalizarla en el software y así obtener el mapa cartográfico.

### **1.4.3 Análisis de susceptibilidad frente a movimientos en masa**

El análisis de la susceptibilidad frente a movimientos en masa en el sector del Valle La Armenia se llevó a cabo mediante la correlación entre la cartografía actual de los movimientos en masa y la litología, es decir, una comparación de incidencia de movimientos frente a las litologías existentes en la zona y los datos geomorfológicos. La generación del mapa de susceptibilidad permite evaluar zonas críticas frente a movimientos en masa lo cual servirá de apoyo para la población.

Existen diversos métodos para el análisis de susceptibilidad mediante los diferentes Sistemas de Información Geográfica, en este caso se utilizó el método de Brabb para la generación del mapa en el cual se hizo la superposición de tres factores importantes que están representados en mapas y permitió el análisis de susceptibilidad frente a deslizamientos como son: el mapa de cartografía de fenómenos de remoción en masa de la zona, un mapa de litologías y un mapa de pendientes.

### **1.4.4 Trabajo de campo**

Se realizaron tres salidas de campo en el mes de mayo y diciembre de 2021 y agosto de 2022, para explorar y tener un mejor reconocimiento y comprensión de la zona de estudio para obtener mejores datos e información respecto a las litologías, estructuras geológicas y geomorfológicas, estos permitieron reconocer la ubicación de deslizamientos antiguos como actuales. Las visitas técnicas se realizaron de manera conjunta con el tutor del presente proyecto de investigación y profesores encargados del Proyecto de Investigación “Caracterización geológica e

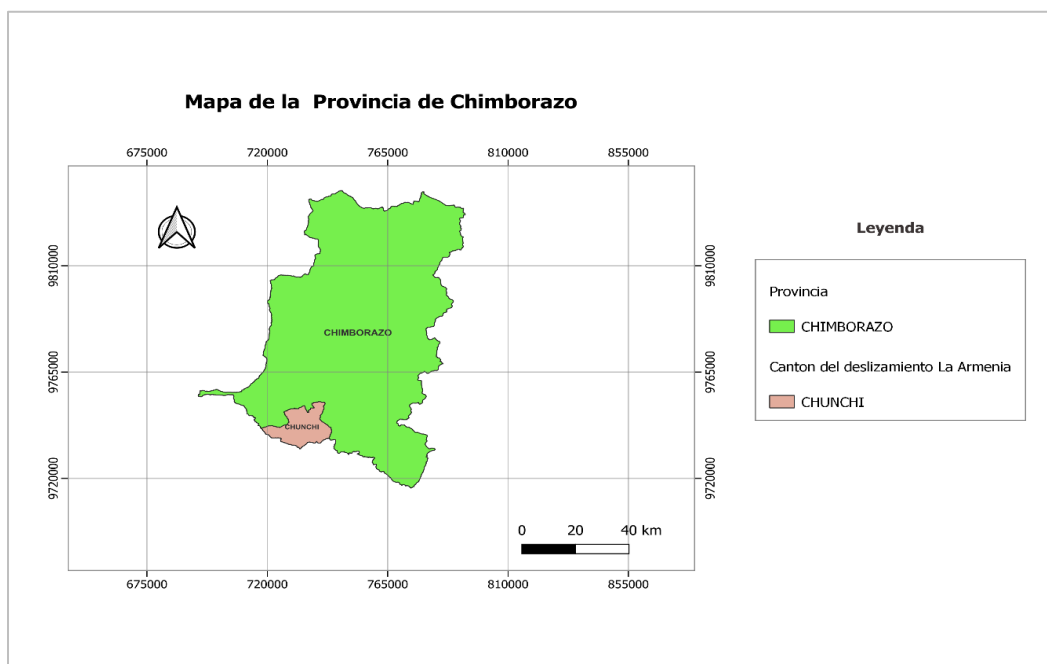
hidrogeológica de la terraza y deslizamientos de Chunchi, provincia de Chimborazo”.

Se reconoció algunas litologías como brechas con diferentes tamaños de clastos y el porcentaje de matriz, brechas meteorizadas, tobas con líticos de variadas formas y tamaños, rocas volcánicas como andesitas de colores distintos como grises claras y oscuras, rojas y verdosas.

## 1.5 DESCRIPCIÓN ÁREA DE ESTUDIO

### 1.5.1 Ubicación y Acceso

El valle de La Armenia está ubicado en el cantón Chunchi, en la región de los Andes al sur de la provincia de Chimborazo a 125 km de su capital Riobamba (Figura 1.3).



**Figura 1.3** Mapa de la Provincia de Chimborazo. Ubicación de Cantón Chunchi, al sur de la provincia de Chimborazo

El acceso a esta zona desde la ciudad de Quito hasta el cantón Chunchi se la puede realizar desde la avenida Simón Bolívar rumbo al sur. Continuar la Panamericana vía Alog – Ambato – Riobamba hasta llegar el cantón Alausí, provincia de Chimborazo. Desde ahí se puede seguir la calle “4 de julio” hasta la cabecera del

deslizamiento y para acceder al pie del deslizamiento se sigue la Panamericana hasta el desvío a Picay por la calle Piñancay.

### **1.5.2 Clima y vegetación**

El clima de la zona va desde un subtropical hasta frío como en los páramos debido a la presencia de neblina pesada que cubre toda la zona montañosa desde muy temprano en la tarde, posee dos épocas de precipitación, una más frecuente entre los meses de enero y abril y otra menos frecuentes entre junio y noviembre son menos frecuentes (SNGRE, 2021b) lo que favorece en gran parte a la agricultura del cantón Chunchi. Este tipo de clima ha influenciado bastante para un suelo lleno de nutrientes lo que ha permitido una gran vegetación, ya que puede observar diversos y extensos sitios que aún conserva el bosque andino. Zonas verdes que poseen una variada vegetación de cerro andino como musgo, paja de cerro, alfalfa, etc. Al tener un buen suelo para la agricultura este cantón Chunchi es productor de algunos cultivos como son maíz, ají, zapallo, mellocos y en ciertas zonas hasta se puede cultivar frutos tropicales (GAD CHUNCHI, 2016).

### **1.5.3 Rasgos Morfológicos**

La morfología de la región presenta paisajes glaciares derivados de procesos antiguos, los cuales han ido modificando la morfología de la zona hasta como se presenta en la actualidad. Zonas que presentan relieves hasta de un promedio de altura de unos 3800 m, con altas pendientes de fuertes a muy fuertes e irregulares formados por grandes afloramientos rocosos. Los relieves interandinos tienen una clara diferencia de los paisajes glaciares ya mencionados, estos presentan una morfología discontinua, además de ello las cimas de los relieves están moldeadas por cobertura vegetal de páramo, pendientes abruptas y cuencas. Dentro de esta extensa morfología se puede observar algunas vertientes (GAD Municipal, 2014).

En el norte del cantón Chunchi, se caracteriza por presentar unidades morfológicas tales como: relieves montañosos, colinados muy altos, colinados altos, relieves colinados medios, superficie ondulada, aluviales y barrancos, todo esto dentro de un promedio de alturas que oscilan entre los 1 400 a 2 200 msnm (GAD Municipal, 2014). Existen sistemas de drenajes que han sido formados por los ríos Chanchán,

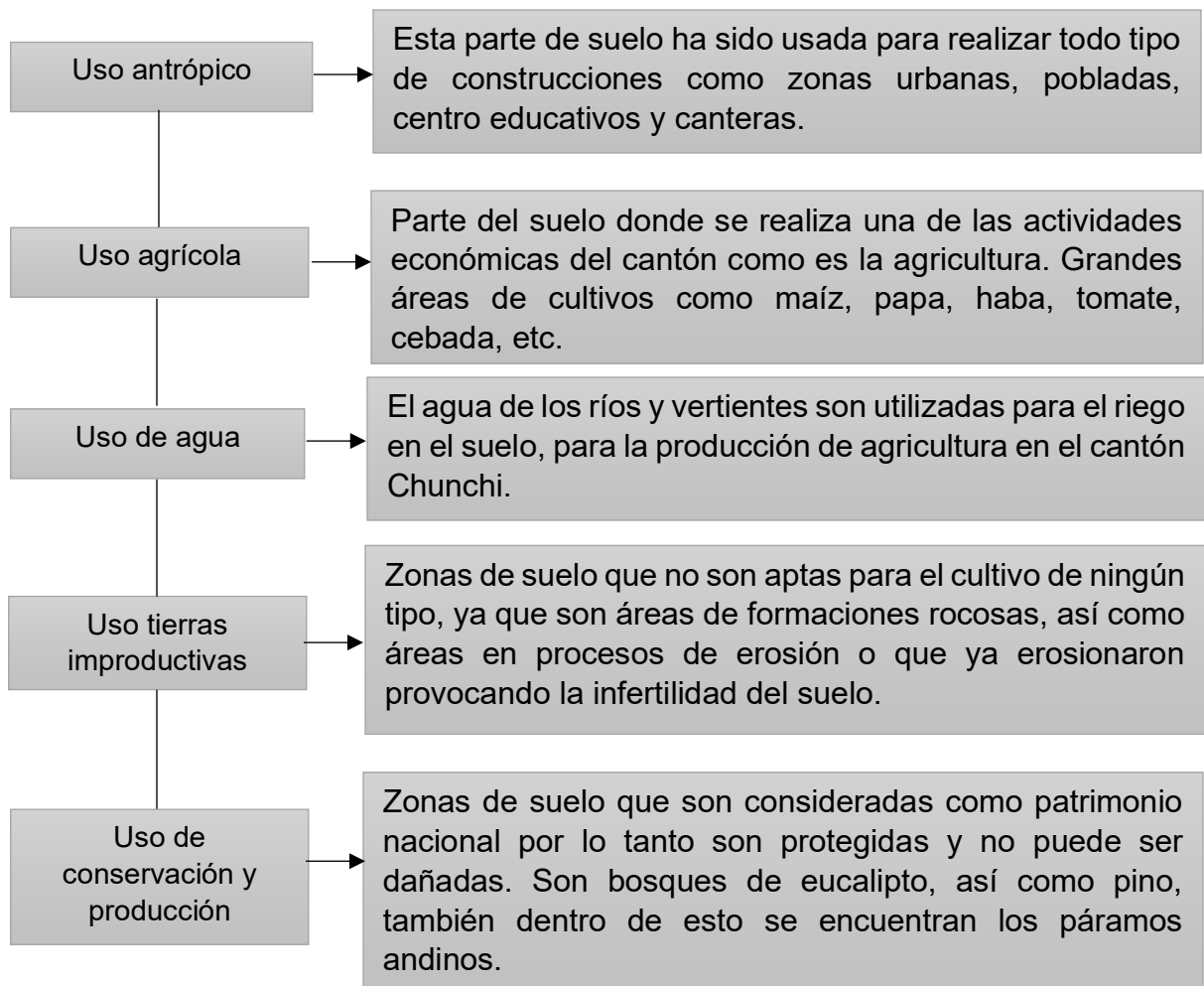
los ríos Guasuntos, Arrayapungu y Angas los cuales atraviesan todo el cantón, además esto debido a progresos erosión o de sedimentación se han formado terrazas y valles.

En el sector de la Armenia se observa una zona de hondonada la cual está rodeada de escarpes muy empinados con presencia de algunas cárcavas (hendiduras en el terreno) productos de la erosión. Estas estructuras corresponden a zonas de pie de monte y deslizamientos antiguos propias de las Regiones Andinas cubiertas de depósitos o roca volcánica (SNGRE, 2021b).

#### **1.5.4 Uso de suelo**

A pesar de tener un suelo rico en nutrientes para la agricultura durante el tiempo ha sido afectado por proceso antrópicos causados por la acción humana llegando a afectar gran parte la cobertura del suelo. Y por ello existen diferentes usos del suelo como se describe en el esquema de la Figura 1.4.





**Figura 1.4** Esquema del uso del suelo. Se describe cada uso del suelo del cantón Chunchi (GAD Municipal, 2014)

## 1.6 Trabajos anteriores

Existen varios trabajos que se han realizado en la zona de estudio, la mayoría son estudios generalizados acerca de la geología, litología, morfología, etc. Muy pocos trabajos se enfocan en los movimientos en masas y sus factores, además de ello las condiciones de la zona han cambiado con el tiempo debido al evento producido en el año 2021 lo cual afecta y podría afectar en un futuro.

El Instituto Nacional de Investigación Geológica y Minero Metalúrgico (2010-2014) proporciono en su base de datos un mapa geológico de Alausí a escala 1: 50 000, dentro de este se puede observar el cantón Chunchi. En este mapa se muestra las diferentes litologías existentes en toda la zona. Además, sería importante hacer una caracterización general actual de las litologías en las salidas a campo.

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Chunchi (2014-2019) realizó un trabajo multidisciplinario que a pesar de que cuenta con información de la geología, el uso y tipo de suelo, análisis de amenaza frente para deslizamientos representan estudios bastante generalizados y no muestran mapas que proporcionen información importante acerca de los movimientos en masa para la población.

El Servicio Nacional de Información (2015) generó un estudio de amenaza frente a los movimientos en masa en el cual se menciona ciertos parámetros y factores que pueden llegar influir en el suelo, se generó un mapa de amenazas, pero el cual es muy generalizado para el sector de Chunchi puesto que se requiere un estudio más central debido a que las condiciones han cambiado por el evento del macrodeslizamiento producido en el año 2021.

El Servicio Nacional de Gestión y Emergencia (2021) realizó informes sobre el deslizamiento que sucedió en el Sector Valle de La Armenia el 12 de febrero de 2021, a pesar que se realizaron inspecciones técnicas para analizar su magnitud y alcance con las ortofotos y modelos digitales, fueron estudios superficiales que se concentraron más en el macrodeslizamiento y no en los movimientos en masa que se podrían dar a futuro en la zona, por ello este presente estudio busca proveer a la población información de los factores causantes de los deslizamientos y sobre todo de las zonas de mayor y menor susceptibilidad a futuros movimientos en masa .

Grace Barrera y Ana Andrade (2023) están realizando estudios acerca de la hidrología y la litología respectivamente en la zona de Chunchi enfocadas en el deslizamiento del Sector Valle de la Armenia. La tesis de hidrología “Modelo conceptual hidrogeológico preliminar y calidad de agua subterránea en la terraza de Chunchi, Provincia del Chimborazo” permitirá conocer si de alguna manera el agua

es un factor que influye para la ocurrencia de deslizamientos. La tesis de litología “Estudio de depósitos cuaternarios del área de Chunchi: morfoestratigrafía y caracterización petrográfica” proveerá información acerca de las diferentes litologías de la zona de estudio. El presente trabajo está enfocado en la creación de una cartografía de los movimientos en masa de la zona.

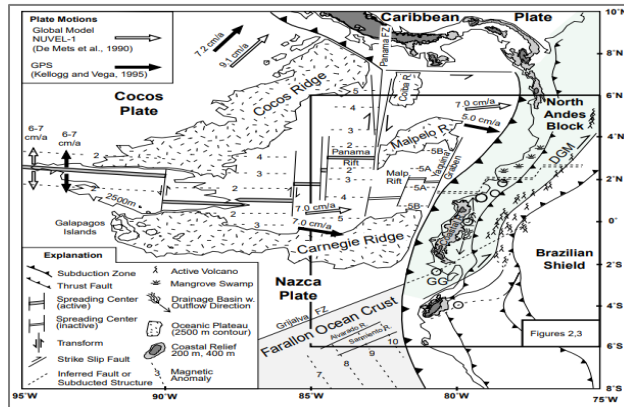
## **CAPÍTULO 2**

### **2.1 MARCO GEODINÁMICO**

El margen ecuatoriano se encuentra controlado por la subducción de la placa Nazca hacia al este por debajo de Sudamérica a una velocidad de 5 – 7 cm/a (Gutsher et al., 1999) (Figura 2.1). La placa oceánica de Nazca es el producto de la fragmentación de la placa Farallón. La colisión de Carnegie Ridge provocó la deformación, levantamiento y actividad volcánica que existe a lo largo del margen ecuatoriano (Gutsher et al., 1999).

La Dorsal de Carnegie es de origen volcánico y es el resultado del movimiento de la placa de Nazca sobre el punto caliente de las Galápagos, está compuesta por dos segmentos la occidental que está formado por las islas y la plataforma de las Galápagos con una profundidad menor a 1000 m y el segmento oriental que está cerca con el slab de subducción a unos 700 m de profundidad (Michaud et al., 2005).

Los Andes del Norte que pertenecen al cinturón orogénico están formadas de rocas oceánicas máficas las cuales forman parte del basamento del antearco costero y las regiones occidentales como Ecuador y Colombia (Vallejo, 2021). Esta cadena montañosa se formó debido al proceso de subducción, lo que provocó que la corteza continental como es el continente sudamericano al someterse a un esfuerzo de compresión y a un engrosamiento vertical formara los Andes del Norte (Hughes & Pilatasig, 2002).



**Figura 2.1** Configuración tectónica que muestra las fallas principales, movimientos relativos de las placas según datos de GPS y el modelo cinemático global NUVEL-1 (Gutsher et al., 1999)

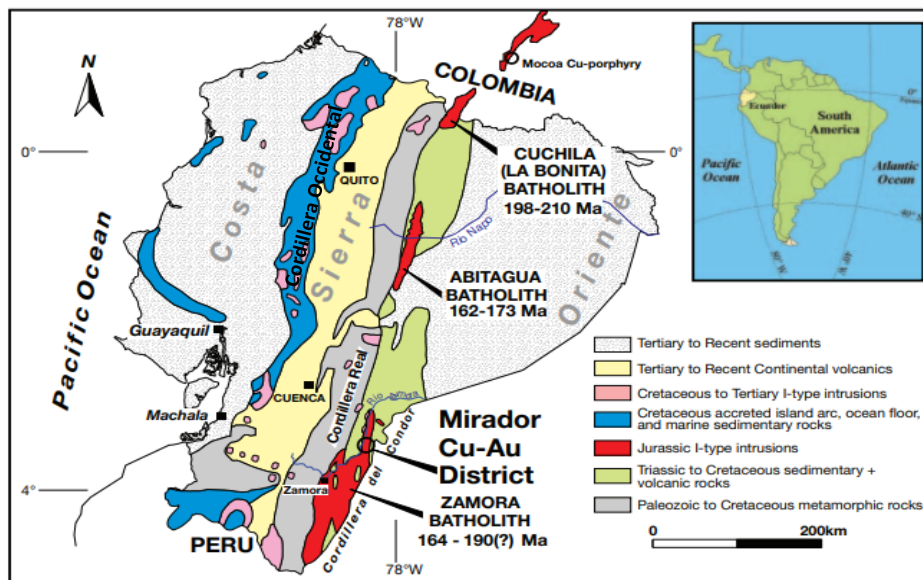
## 2.2 GEOLOGÍA REGIONAL

El Ecuador se divide en diferentes regiones o dominios morfoestructurales (Figura 2.2). La Región Costa de baja altitud con unos 100m de relieve local aunque en ciertos lugares se puede encontrar relieves de hasta 800m de altura, los principales cerros Chongon-Colonche en la península de Santa Elena forman parte de la anomalía fisiográfica más destacada del Ecuador (Feininger et al., 1980). Esta región forma parte del antearco costero constituida por corteza oceánica máfica que está expuesta en las cordilleras costeras y está cubierta por depósitos del paleógeno al neógeno. También comprende una serie de cuencas hidrocarburíferas del Cretácico al Cenozoico (Hughes & Pilatasig, 2002).

El basamento de la Cordillera Occidental está constituido por rocas máficas y ultramáficas las cuales tienen una afinidad geoquímica de plateau oceánico del cretácico superior (Vallejo, 2007). El terreno Pallatanga es el basamento ya mencionado, pero también existen distintos terrenos pertenecientes a arcos oceánicos. El bloque Pallatanga está formado por rocas volcánicas del terreno Pallatanga conformada por doleritas y lavas basálticas submarinos y también rocas sedimentarias pertenecientes a la Unidad San Juan que está formada por gabros estratificados, peridotitas y dunitas (Vallejo et al., 2019).

La Cordillera Oriental básicamente está compuesta por rocas metamórficas de la edad del Paleozoico, granitoides y rocas sedimentarias del Mesozoico (Hughes & Pilatasig, 2002). Esta cordillera ha sido sometida a distintos eventos como tectónicos y magmáticos que sucedieron en el periodo del Mesozoico y Cenozoico las cuales permitieron las acreciones al margen continental la cual está limitada al Oeste por la Falla Calacalí-Pallatanga y hacia el Este por la Falla Peltetec (Aspen et al., 1992).

El Valle Interandino es una depresión de orientación norte-sur que está ubicado entre la Cordillera Real y la Cordillera Occidental, durante el desarrollo de esta depresión se formaron otras cuencas progresivamente. Los límites de este valle son fallas que se formaron antes por los eventos acrecionarios al margen continental Ecuatoriano (Winkler et al., 2005). Se ha ido formando desde hace 6 Ma en un entorno transcurrente formando una apertura progresiva hacia el sur y el levantamiento de los flancos del norte, también se asume que la exhumación del Plioceno de la Cordillera Real por un régimen tectónico transpresional dando como resultado a la formación de la Depresión Interandina (Spikings & Crowhurst, 2004).



**Figura 2.2** Divisiones de regiones o dominios ene general del Ecuador (Drobe et al., 2013)

## **2.3 GEOLOGÍA LOCAL**

### **2.3.1 Litologías y depósitos cuaternarios**

El cantón Chunchi se encuentra sobre rocas volcánicas de la formación conocida como Cisarán, está constituida por lavas andesíticas y dacíticas que están estratificadas. En la parte inferior consta de lavas andesíticas y dacíticas las cuales antes se incluían en la formación Alausí que hacia la parte de arriba son brechas andesíticas de pobre sorteo con intercalaciones de areniscas volcánicas, lavas y tobas que se observan en la cima del Cerro Cisarán. También aflora debajo la formación Puñay que está compuesta por lavas andesíticas con anfíbol, brechas y areniscas, entre Huigra y Chanchán contiene mayor material sedimentario como areniscas volcánicas, tobas líticas, brechas y limolitas (INIGEMM, 2015).

También existen depósitos coluviales del cuaternario que debido al transporte gravitacional del material se presentan como clastos angulosos métricos a milimétricos con una matriz arenosa. Depósitos aluviales del cuaternario compuestos de gravas medias a gruesas intercaladas con tobas (IEE & MAGAP, 2013). En el sector de Chanchán que es el principal drenaje de la zona posee una terraza aluvial alta compuesta de conglomerados y depósitos volcánicos sedimentarios estratificados (SNGRE, 2021c).

La zona donde ocurrió el macrodeslizamiento conocido como el sector Valle de la Armenia está cubierto por depósitos coluviales que están compuestos por material poco consolidado y arcillas producto de la meteorización de la roca (SNGRE, 2021b).

## **2.4 Fallas**

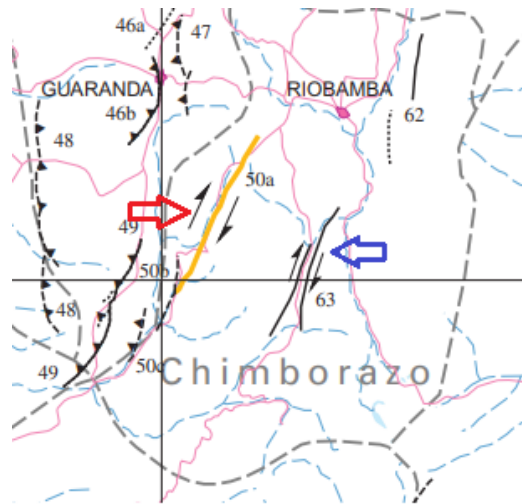
- **Falla PPCC (Puna-Pallatanga-Cosanga-Chingual)**

La falla PPCC es una de las fallas más prominentes que tiene el Ecuador, está ubicada en la Provincia de Chimborazo en el cantón del mismo del nombre, se extiende desde el sur del Golfo de Guayaquil atravesando la Cordillera Occidental y prolongándose hasta al norte hacia la población de Cajabamba (Vallejo, 2021).

Esta falla esta subdividida en tres secciones, de las cuales dos se encuentran más cercanas al cantón Chunchi, la sección central y la sección sur que tienen un movimiento dextral (Figura 2.3).

- **Falla Guamote**

Es una falla de tipo dextral que está asociada con un proceso de desplazamiento lateral en dirección Este y cuya tasa de movimiento es desconocida (Figura 2.3).



**Figura 2.3** Falla de Pallatanga; sección central 50b y sección sur 50c (flecha roja) y la Falla Guamote (Flecha azul)

Fuente: modificado de (Eguez, 2003)

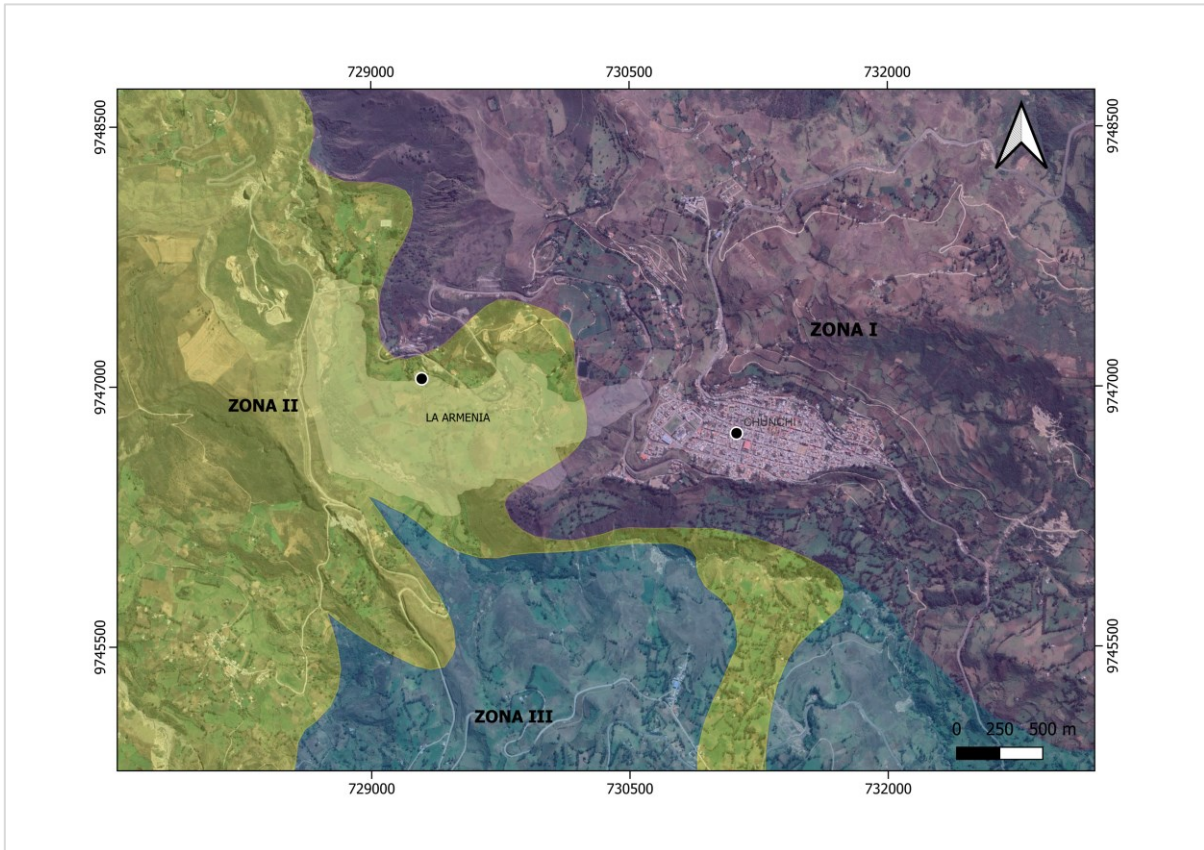
## 2.5 DESCRIPCIÓN GEOMORFOLÓGICA

El análisis geomorfológico de la zona permite identificar las zonas donde se producen los movimientos en masa. Así, se pudo distinguir que ciertas áreas comparten ciertas características similares, para ello se utilizaron ciertos parámetros como son la litología, las pendientes, la dirección de los movimientos en masa y el grado de meteorización de la roca la cual se identificó a partir de las salidas de campo al área y la caracterización de la roca.

Se destacan tres zonas las cuales se diferencian por las características litológicas y la meteorización, el primero, **Zona I**, es roca con alta meteorización, el segundo,



**Zona II**, que es roca retrabajada y alta meteorización y el tercero, **Zona III**, que es una roca más competente con una meteorización media (Figura 2.4)



**Figura 2.4** En la zona de estudio se destacan 3 zonas como son: Zona I, Zona II y Zona III

### **Zona I**

Esta zona está definida toda la parte norte del pueblo de Chunchi incluido la terraza, se observan zonas altas que presentan pendientes de medias a altas ( $16.5^{\circ}$ -  $45^{\circ}$ ) y muy poca presencia de pendientes muy bajas a bajas. Esta área está formada por depósitos volcánicos en su mayoría tobas claras, grises y tobas silificadas, también brechas andesíticas que están retrabajadas y muy meteorizadas.

La mayoría de los deslizamientos que existen en la zona se presentan en este tipo de litología, existen deslizamientos antiguos y bastantes deslizamientos actuales

pequeños que ocurren a lo largo y en dirección hacia el río Picay. El deslizamiento más importante que existe en esta área es el macrodeslizamiento de La Armenia.

## **Zona II**

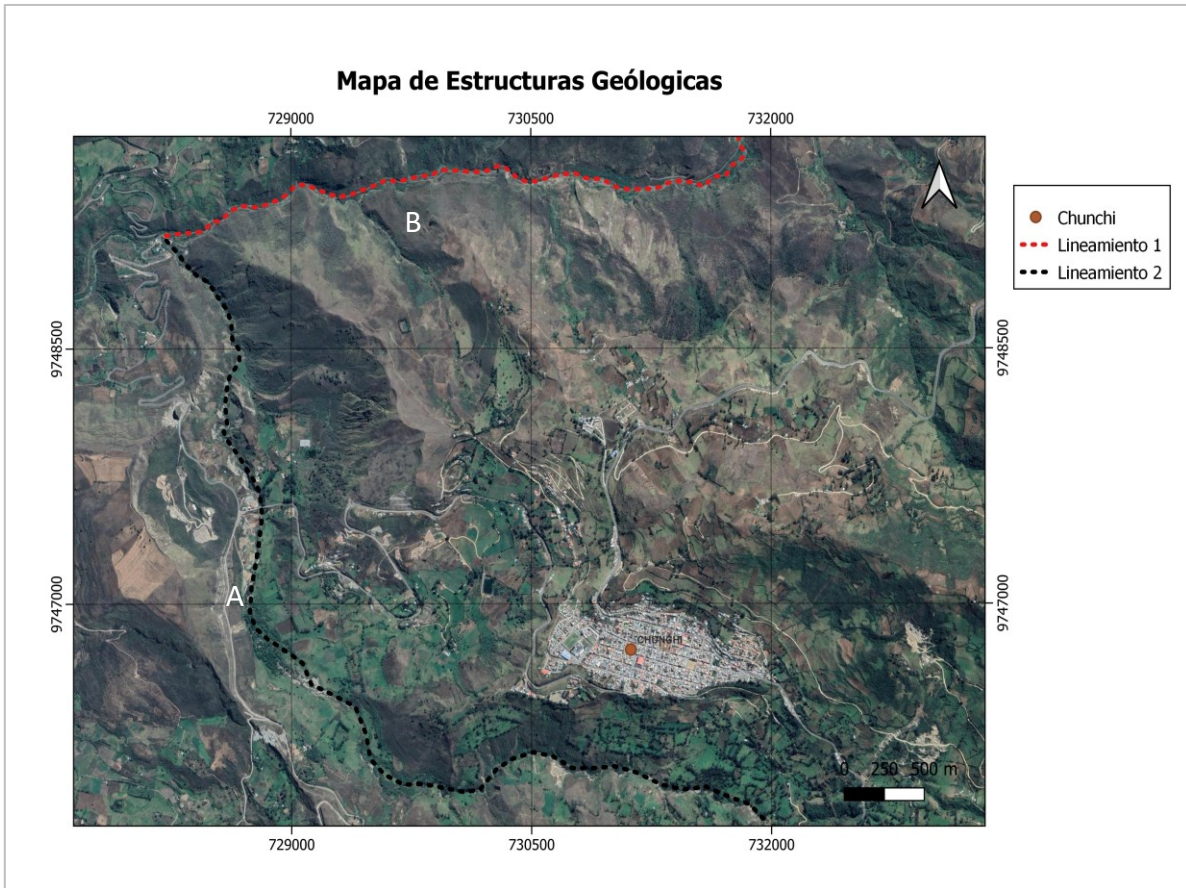
Compuesta por depósitos cuaternarios se encuentran en la parte oeste del pueblo de Chunchi y una parte ubicada al sur al frente de la terraza de Chunchi, se observa que en su mayoría presentan pendientes de muy bajas a bajas ( $0^{\circ} - 16.7^{\circ}$ ) y solo presenta pendientes de media a altas cuando hay la presencia de escarpes de algún deslizamiento. Está compuesta por tobos, brechas, este depósito se encuentra en su mayoría en los bordes a lo largo del río Picay y sobre todo forman parte de las zonas de antiguos deslizamientos, materiales bastantes incompetentes, muy deleznable con facilidad y presenta meteorización alta.

## **Zona III**

Esta zona está ubicada en la parte sur del pueblo de Chunchi, toda la zona donde se encuentra ubicado el Cerro Puñay y las zonas aledañas, presenta pendientes de medias a altas ( $16.5^{\circ} - 45^{\circ}$ ). Se observó en campo que el cerro Puñay está compuesto por roca más competente en comparación de la zona I y además presenta más del 50% de cubierta vegetal en toda la zona del cerro y sus alrededores. La roca presenta una meteorización media a diferencia de los otros antes mencionados.

## **Estructuras Geológicas**

Las estructuras geológicas determinan la historia de cualquier deformación presente en el área como el relieve. Con el estudio fotogeológico a través de fotos aéreas obtenidas del Instituto Geofísico Militar, 1989 y del software Google Earth Pro se observó la presencia de dos lineamientos en la zona de estudio, el primero, es el lineamiento que se da en el río Chanchán la cual tiene una orientación aproximada de E-W y el segundo lineamiento del río Picay con una orientación aproximada de N-S (Figura 2.4).



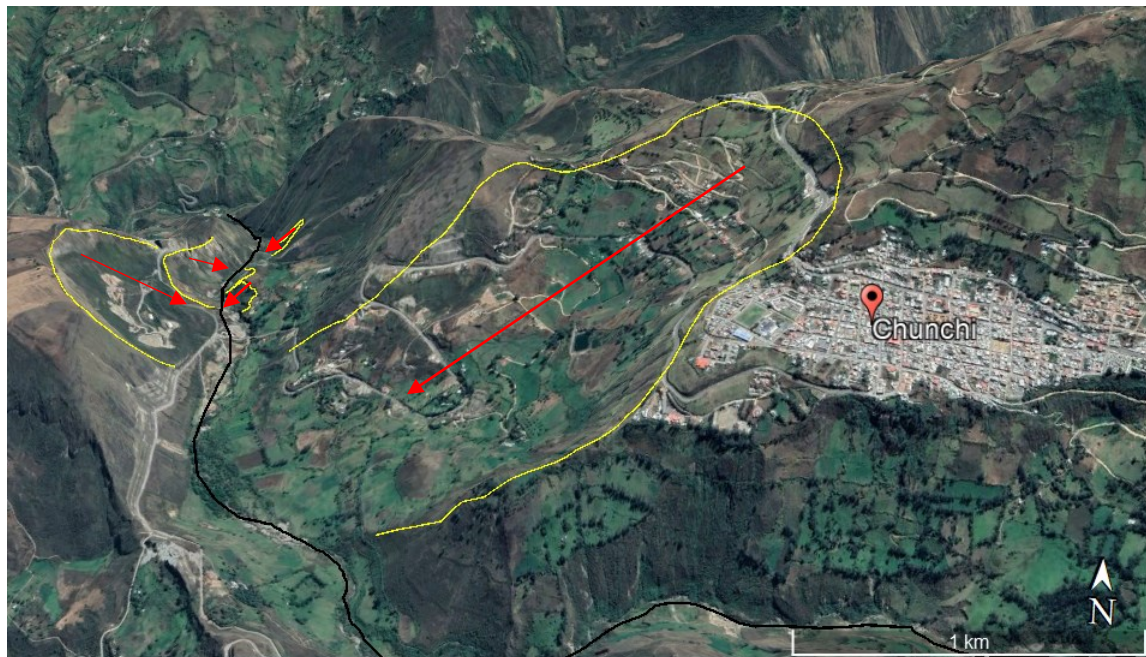
**Figura 2.5** Lineamientos. Se identificó en la zona de estudio estructuras geológicas como son dos lineamientos: **A)** Lineamiento 1: Se observan las líneas entrecortadas de color rojo que indican el lineamiento del Río Chan Chán **B)** Lineamiento 2: Se observan las líneas entrecortadas negras que indican el lineamiento del río Picay.

El lineamiento del río Chanchán se ubica al norte del pueblo de Chunchi, se observa ciertos parámetros geométricos que indican la existencia del lineamiento del río Chanchán, como son la presencia de las facetas triangulares (figura 2.5). Estas facetas son marcadores geomorfológicos que indican posible tectónica activa en la zona, así como también la presencia de deslizamientos que se encuentran alineados, con dirección o cercanos al lineamiento (Ortuño, 2008). También se identificó al lineamiento del río Picay debido a la presencia de ciertas características como el lineamiento de los deslizamientos a lo largo y al borde del río Picay, los cuales están en dirección hacia el río mencionado (figura 2.6).





**Figura 2.6** Triángulos segmentados. Se observa las facetas triangulares (flechas negras) a lo largo del lineamiento del río Chanchán (Línea roja). (Google Earth Pro, 2022)



**Figura 2.7** Alineación de movimientos en masa. Se observa que la dirección (flechas rojas) de los deslizamientos van hacia el lineamiento del río Picay (línea negra). (Google Earth Pro, 2022)

## **CAPÍTULO 3**

### **3.1 CARTOGRAFÍA DE MOVIMIENTOS EN MASA**

La cartografía permite representar a través de un mapa a diferentes escalas características geográficas, geológicas detalladas de un área determinado, a través del uso de programas de Sistema de Información Geográfica (SIG), la recopilación de datos e información geográfica.

Esta cartografía representa a través de un mapa los diferentes movimientos en masa de una zona, este tipo de mapas se utiliza en la gestión de riesgos para la planeación, evaluación y ejecución de acciones que permite evitar, reducir o controlar cualquier riesgo al que se pueda enfrentar la población ante un amenaza en este caso a los movimientos en masa que existen o pueden darse en un futuro (Arévalo & Parias, 2013). También se usa para la elaboración de mapas de susceptibilidad, los cuales representan la zonificación del terreno, indicando zonas de mayor y menor ocurrencia de movimientos en masa, estos dependerán de las condiciones topográficas, geológicas y el conocimiento de las deslizamientos ocurridos de la zona (Suarez, 2009).

De esta manera, es de importancia la elaboración de este tipo de cartografía, ya que permite aportar a la reducción de impactos en los pobladores y la infraestructura en el Valle de La Armenia del Cantón Chunchi.

#### **3.1.1 Movimientos en masa**

El término “movimiento en masa” se le asigna a todo tipo de movimientos ladera abajo de una masa de rocas, detritos o suelo por efecto de la gravedad (procesos gravitatorios), estos movimientos pueden ser de baja velocidad y algunos otros pueden desarrollar grandes velocidades a lo largo del deslizamiento (GEMMA, 2007). Este tipo de fenómeno natural es uno de los procesos geológicos más destructivos y peligrosos ya que provocan en mucho de los casos pérdidas materiales y humanos, a pesar de esto la mayoría de la población desconoce sobre la importancia de las medidas de prevención y control existentes.

Las zonas montañosas son áreas más susceptibles a la ocurrencia de movimientos en masa debido a que esta zona reúne las características más importantes para la ocurrencia de estos procesos como son la topografía , meteorización , sismicidad y lluvias intensas (Suarez, 1998). Existen diferentes factores que influyen para los movimientos en masa, los antrópicos como: la ubicación y las características de las carreteras, tuberías, construcciones y todos aquellos productos de la acción humana, también los factores naturales como: las precipitaciones, tectónica y sismicidad identificando aquellas zonas cercanas a fallas geológicas y volcanes (Suarez, 2009).

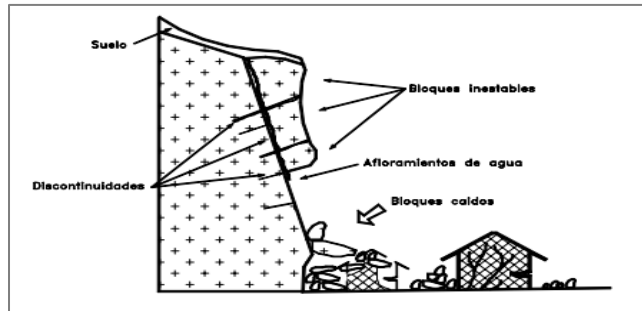
### **3.1.2 Clasificación de los movimientos en masa**

Existe una gran variedad de clasificaciones de los movimientos de remoción en masa debido a su complejidad, las cuales en forma general se basan en los aspectos morfológicos del movimiento tanto como la superficie de rotura y área de depósito (Alcántara, 1999).

- **Caída o Desprendimiento**

Son movimientos de caída libre de uno o varios bloques de rocas desde un macizo rocoso pendiente abajo. Al desprenderse los materiales pueden rebotar, deslizarse o rodar estos llegan a ser muy rápidos y destructivos (Figura 3.1). Según el tipo de material se podría decir que es caída o desprendimientos de roca o suelo, más frecuentemente se puede encontrar al pie de los escarpes, al margen de las quebradas o ríos, taludes y contrapendientes (Ramos, 2013).

Una característica importante de las caídas o desprendimientos es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento (GEMMA, 2007).

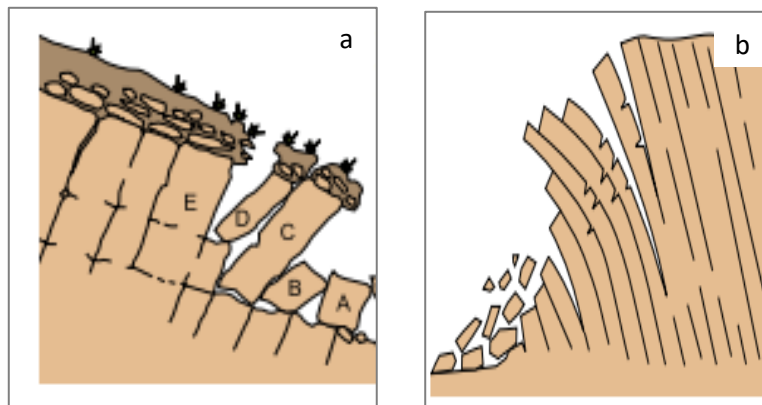


**Figura 3.1** Caída de rocas. Fuente: (Suarez, 1998)

- **Volcamiento**

Ocurre en un movimiento de rotación hacia delante de una o varias unidades donde se produce inclinación o basculamiento del material el cual no colapsa, esto ocurre con frecuencia debido a la fuerza de empuje de las unidades adyacentes y a la presencia de diaclasas o grietas (Alcántara, 1999).

El volcamiento puede ser en bloque o flexural, el primero ocurre en laderas con material relativamente competente el cual pierde estabilidad y comienza a rotar uno o varios bloques a partir de un punto de su base, está asociado también a velocidades muy altas (Fig 3.2 a) mientras que el flexural se produce en laderas de gran escala con presencia de roca frágil o macizos rocosos que están diaclasados o estratificados, estos se doblan en movimientos lentos y graduales (Figura 3.2 b) (GEMMA, 2007).



**Figura 3.2** Tipos de volcamiento: a) volcamiento de bloques; b) volcamiento flexural (GEMMA, 2007)

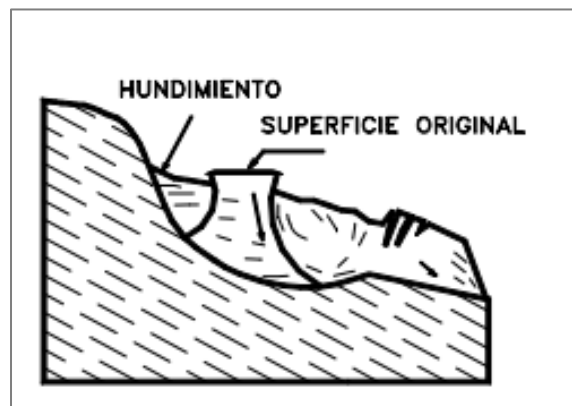
- **Deslizamiento**

Es un movimiento de roca, suelo o una combinación de las dos, ocurren principalmente en laderas de pendientes altas, estos deslizamientos se producen en una sola masa o en varias unidades a lo largo de una superficie de falla. Este tipo de movimiento se clasifica según la rotura de superficie la cual puede ser cóncavas que son los deslizamientos rotacionales o planos representando a los deslizamientos traslacionales (GEMMA, 2007).

Las principales causas que producen deslizamientos se originan por la acción humana como la deforestación, las construcciones de edificios en las laderas, excavaciones, entre otros. Pero también por factores naturales como los factores climáticos, la sismicidad (IGME, 1987).

### **Deslizamiento Rotacional**

Es un tipo de movimiento el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie cóncava o como el término más conocido en forma de cuchara (Alcántara, 1999) (Figura 3.3). El deslizamiento rotacional se caracteriza por su morfología presenta un escarpe vertical principal pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe, la masa desplazada se acumula ladera abajo, asociados a movimientos desde lentos a rápidos debido al material como rocas poco competentes o fracturadas y meteorizadas (GEMMA, 2007).

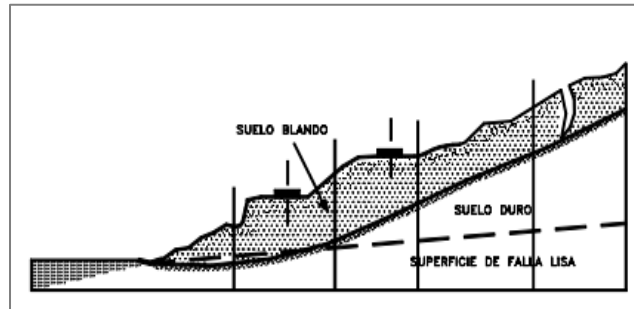


**Figura 3.3** Deslizamiento rotacional, movimiento de la masa (Suarez, 1998)



## Deslizamiento traslacional

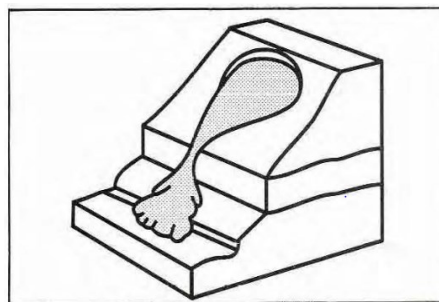
Esto sucede cuando la masa se desplaza hacia abajo sobre una superficie plana (Figura 3.4) tiene muy poco o nada de rotación, por ello son más superficiales que los rotacionales y ocurren en zonas que presentan fallas, diaclasas, planos de contacto o estratificación. Este tipo de movimiento puede variar su velocidad de rápida a muy rápida (Suarez, 1998).



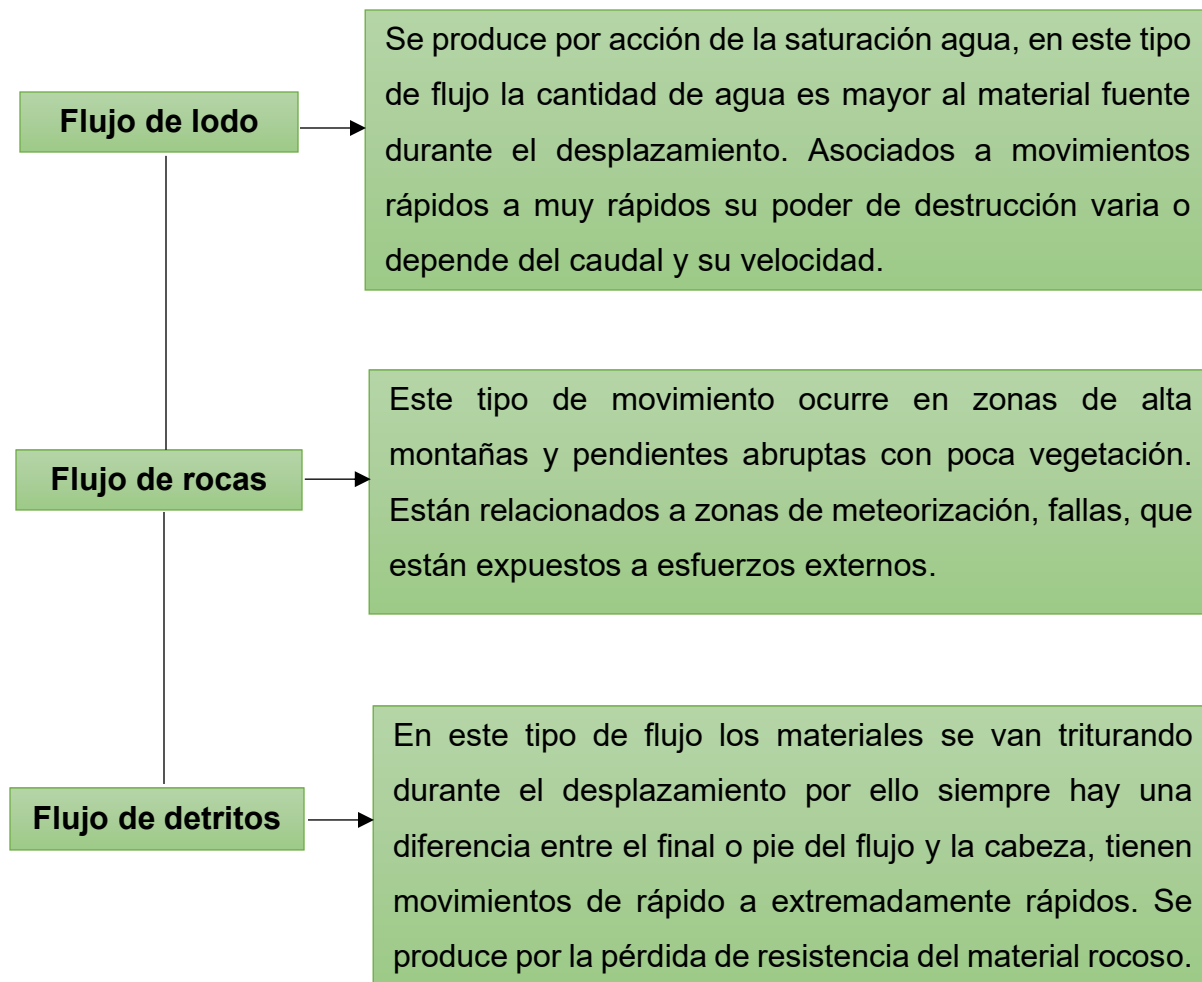
**Figura 3.4** Deslizamiento traslacional (Suarez, 1998)

- **Flujo**

Es un movimiento en masa que durante su desplazamiento sobre una superficie de falla puede ser lento o rápido, así como también pueden ser secos o húmedos (Figura 3.5). Existen diferentes tipos de flujos como de lodo, roca o detritos (Suarez, 1998). Esto se produce en algunos casos porque hay suelos que absorben agua debido a la presencia de fracturas, grietas por un deslizamiento anterior y esta saturación produce la formación del flujo (Vargas, 2000). Existen tipos de flujo como: flujo de lodo, detritos y de roca descritos en la figura 3.6.



**Figura 3.5** Imagen de cómo se observa un flujo. Fuente : (Alcántara, 1999)



**Figura 3.6** Clasificación de tipos de flujo. Fuente: (IGME, 1987)

- **Avalancha**

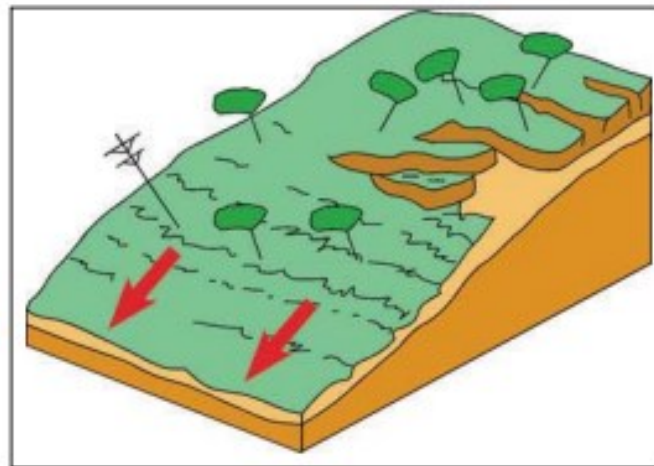
Las avalanchas son producidas por el gran aporte de materiales de uno o varios deslizamientos o flujos los cuales están asociado con un volumen importante de agua (Figura 3.6) que permite que se forme una masa de comportamiento de líquido viscoso que puede generar velocidades muy altas de poder destructivo (Suarez, 1998).



**Figura 3.7** Avalancha en cauce de río por acumulación de materiales producto de una gran cantidad de deslizamientos ocurridos (GEMMA, 2007)

- **Reptación**

Es la deformación del suelo, como resultado de movimientos muy lentos por acción de la gravedad. Se manifiesta en forma de guirnaldas sobre terreno en la mayoría de los casos acompañado de árboles y postes inclinados (Granados & Torres, 2008).



**Figura 3.8** Reptación superficial en una ladera, se observa como la reptación afecta a los árboles

Fuente : (Copons & Tallada, 2009)

## **3.2 CARACTERÍSTICAS UTILIZADAS PARA EL RECONOCIMIENTO DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA**

### **3.2.1 Rasgos estructurales**

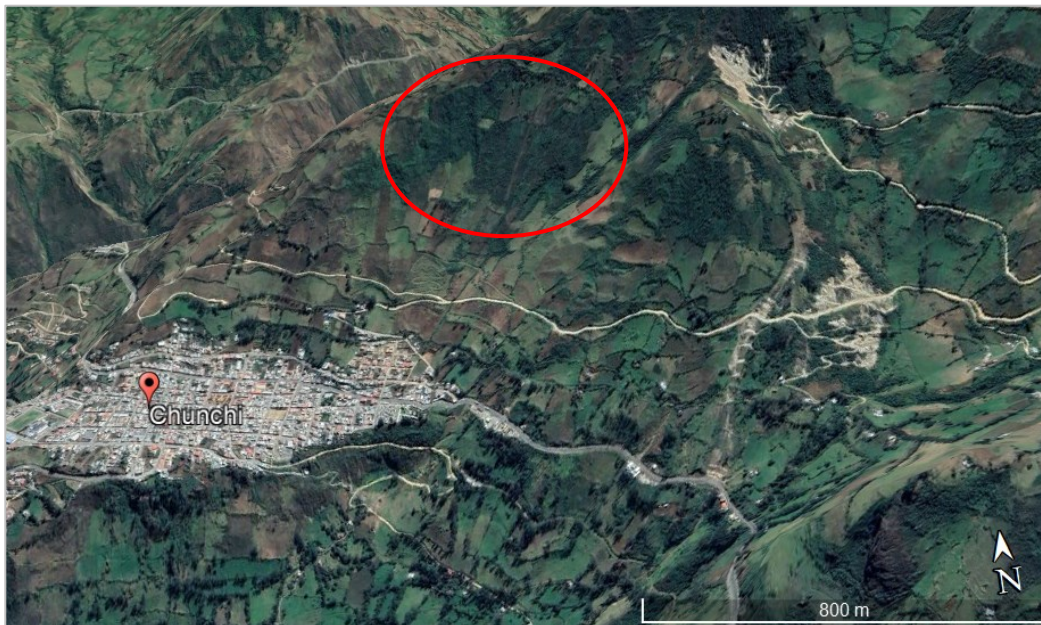
Existen ciertas características que permiten reconocer los movimientos en masa a través de fotografías aéreas (Suarez, 2009):

- Presencia de unos o más escarpes
- Doble divisora de aguas
- Presencia de varias cuchillas
- Ausencia de vegetación
- Redes de drenajes paralelas
- Formas alargadas en pendientes abruptas
- Al pie de las laderas cambios en pendientes acompañadas de depósitos de pie de monte
- Depresiones en las laderas
- Escarpes en forma de medialuna
- Cambios bruscos de pendiente
- Reptación en el suelo
- Presencia de formas cóncavas en los macizos rocosos

Estos rasgos estructurales son importantes para poder reconocer con más facilidad los movimientos en masa, en la zona de estudio de este trabajo se identificó algunos de los rasgos ya mencionados, se mostrarán a continuación imágenes de Google Earth indicando los principales rasgos que se identificaron para reconocer los movimientos en masa.



**Figura 3.9** Presencia de formas cóncavas. Se observa en las zonas señaladas de amarillo las formas cóncavas y medias lunas que representan a los deslizamientos. (Google Earth Pro, 2022)

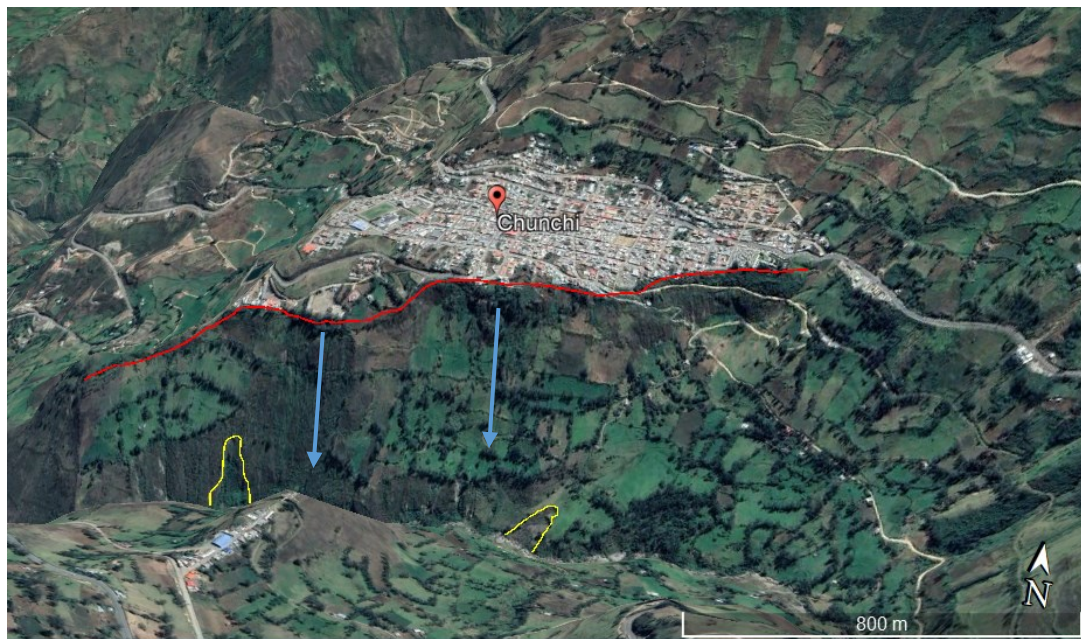


**Figura 3.10** Reptación. En la zona señalada con rojo se puede observar formas como guirnaldas en el suelo lo que representa la reptación (Google Earth Pro, 2022).





**Figura 3.11** Se observa uno o más escarpes (amarillo), las flechas rojas indican las pendientes abruptas, la flecha azul indican las zonas con ausencia de cobertura vegetal (Google Earth Pro, 2022).



**Figura 3.12** Se observa la terraza de Chunchi (rojo) la cual posee una pendiente abrupta (flecha celeste) y dentro de toda esta parte se puede observar formas alargadas señaladas con amarillo que representan deslizamientos (Google Earth Pro, 2022).

### **3.2.2 Movimientos en masa activos o inactivos**

Se pueden observar diferentes características o evidencias que permiten reconocer si los movimientos en masa están activos es decir aquellos que sucedieron recién y siguen en su proceso de inestabilidad, como los que son inactivos y no han experimentado ningún movimiento o actividad (Figura 3.13).

#### **Movimiento activo**

Son aquellos que presentan clara evidencia de actividad o desplazamiento en la zona. El análisis de fotografías aéreas permite identificar las evidencias o características de un movimiento activo (Figura 3.13). Es importante identificar este tipo de movimiento debido a que es un proceso que pone en peligro a una población.

#### **Movimiento inactivo**

Este tipo de movimiento se refiere que no ha existido señales de desplazamiento en el área durante un largo periodo de tiempo, la ausencia de actividad o movimiento permite que la zona tenga ciertas características descritas en la Figura 3.13. En este caso en su mayoría son movimientos en masa antiguos lo cuales no han experimentado ninguna actividad por largos años.

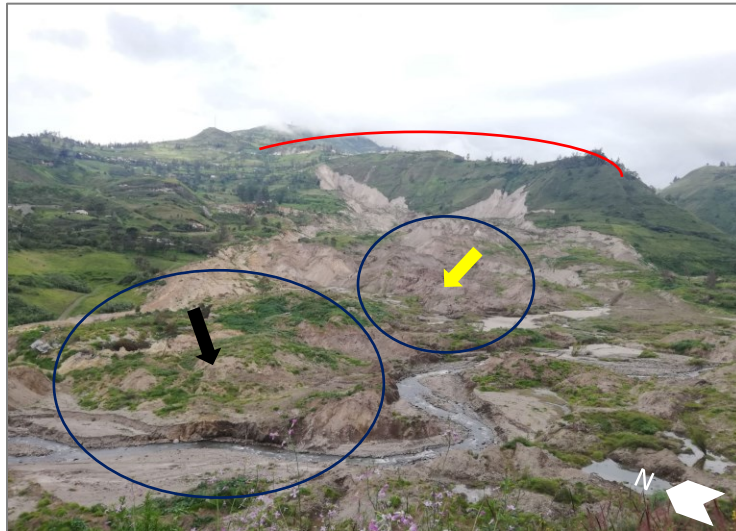
<b>Movimientos activos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las superficies muestran estrías y pulimiento</li> <li>• Los escarpes tienen ejes abruptos</li> <li>• No hay rellenos secundarios</li> <li>• Bajo o nulo crecimiento de vegetación</li> <li>• Cambios en el drenaje</li> <li>• Diferencias en la forma, textura y vegetación de la zona</li> <li>• El masico rocoso presenta fracturas secundarias y grietas transversales y longitudinales</li> <li>• Vegetación inclinada</li> </ul>
<b>Movimientos inactivos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escarpes suavizados</li> <li>• Superficies cubiertas de vegetación</li> <li>• Depresiones sin relleno</li> <li>• No existe movimientos secundarios y grietas</li> <li>• Drenaje irregular e integral</li> <li>• Dificultad para distinguir límites y texturas en fotos aéreas</li> <li>• Crecimientos de árboles asociado a un crecimiento vertical</li> </ul>

**Figura 3.13** Características de reconocimiento para movimientos en masa activos e inactivos (Crozier, 1986)

En la zona de estudio se identificó algunas características ya mencionadas en la figura 3.13 de estos tipos de movimientos, en el caso de movimiento activo se encuentra el macro deslizamiento de La Armenia sucedido en el año 2021, debido a que no ha transcurrido mucho tiempo de la ocurrencia del evento hasta la actualidad, este presenta inestabilidad ya que se observa características que indican el movimiento activo descritas en la Fotografía 3.1. También se observaron



ciertas características que indican movimientos inactivos en la zona de estudio que están detalladas en la Figura 3.14.



**Fotografía 3.1** Características de un movimiento activo. Se observa el macrodeslizamiento de La Armenia en el cual se puede observar: **a)** Los escarpes presentan ejes abruptos (rojo) **b)** las zonas como las que indican la flecha amarilla se observa ausencia de vegetación **c)** Diferente formas de textura, forma y vegetación se observa zonas con vegetación y otras solo suelo (flechas negra y amarilla), también hay zonas planas, pero también zonas levantadas (círculos azules). (Orozco, 2022)



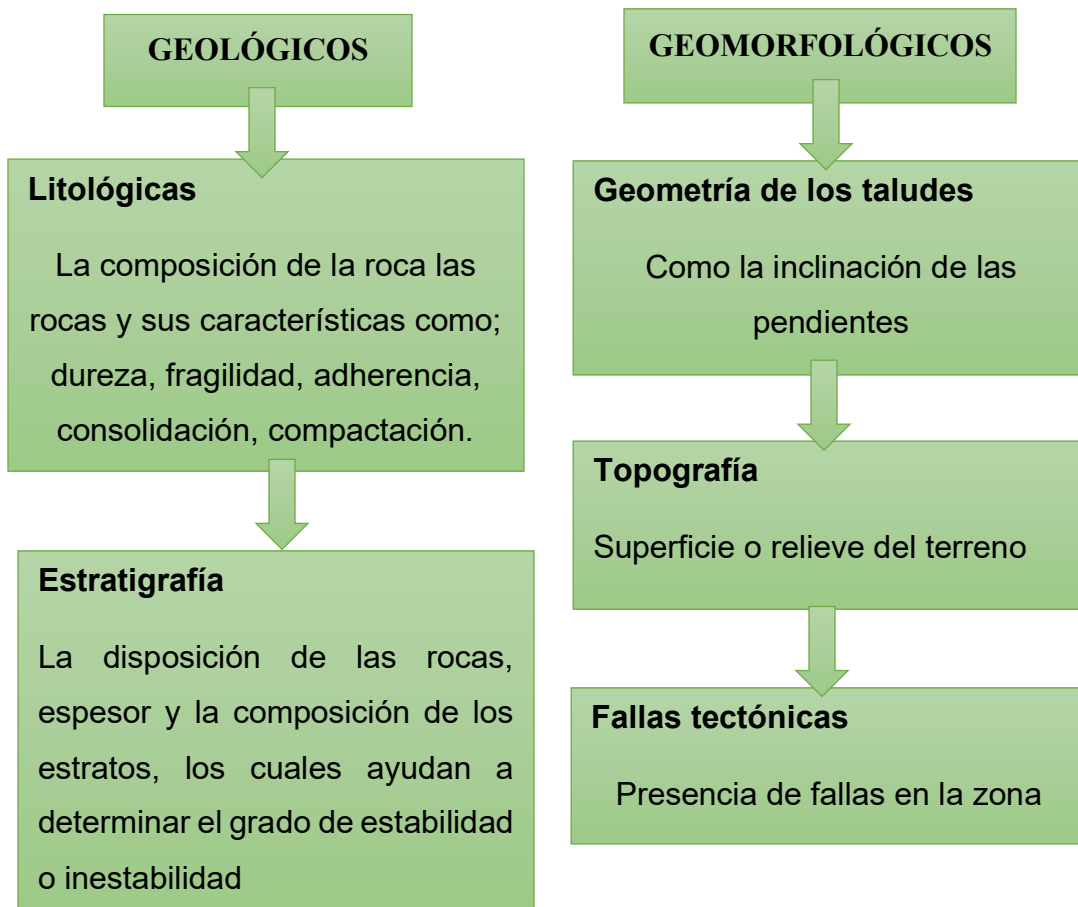
**Figura 3.14** Características movimientos inactivos. Se observar deslizamientos con escarpes suavizados (amarillos). Zonas que indican superficies con cobertura vegetal las cuales se encuentran en el deslizamiento (flecha azul). No se observa grietas en las zonas de los deslizamientos. (Google Earth Pro, 2022)

### 3.3 FACTORES CONDICIONANTES Y DESCENDENANTES PARA LOS MOVIMIENTOS EN MASA

Son aquellos factores que permiten comprender el estado de esfuerzos en una ladera para la generación o activación de movimientos en masa en las laderas.

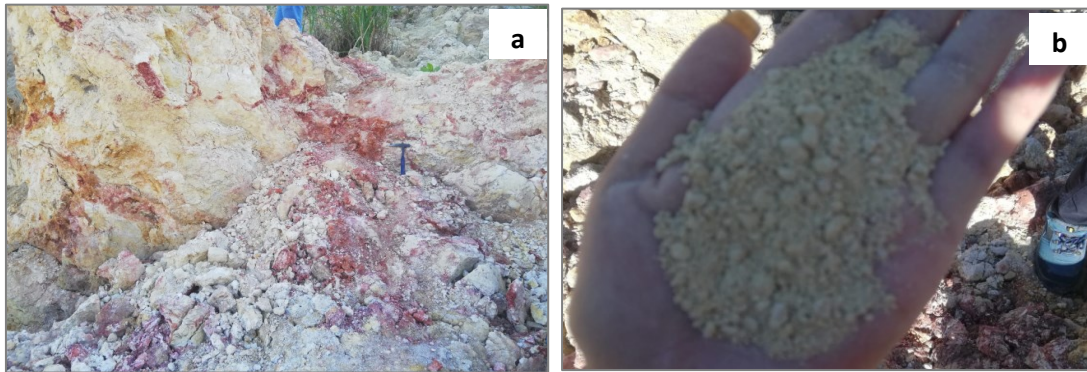
#### 3.3.1 Factores condicionantes

Son aquellos factores que forman parte de las propiedades y comportamientos del propio medio donde sucede el movimiento en masa (INDECI, 2011), se puede observar en la Figura 3.15 .

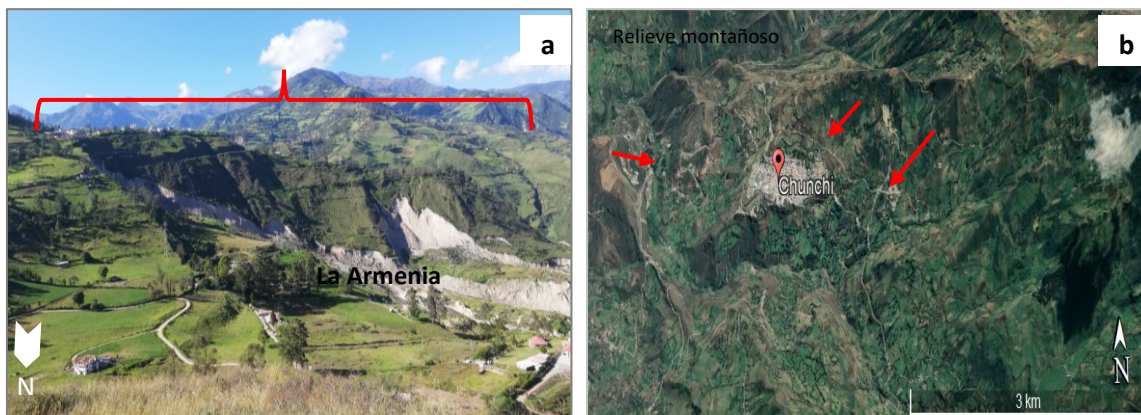


**Figura 3.15** Factores condicionantes ((INDECI, 2011)

En la zona de estudio se identificó ciertos factores condicionantes que pudieron dar origen a los movimientos en masa antiguos, así como los actuales. En los factores geológicos se observó en el macrodeslizamiento de La Armenia material como arcilla muy meteorizada de color amarillento y rojizo, poco consolidada y resistente (Fotografía 3.2). También se reconoció factores geomorfológicos como la presencia de pendientes bastante inclinadas y la topografía de la zona que es bastante montañoso y colinado (Figura 3.3 a y b).



**Fotografía 3.2** Factores geológicos. **a)** Se observa en el cuerpo del macrodeslizamiento de La Armenia arcilla muy meteorizada **b)** Material poco consolidado y resistente



**Fotografía 3.3** Factores geomorfológicos. **a)** El Sector valle de la Armenia (mayo de 2021) se observa zonas montañosas con pendientes inclinadas **b)** Cantón Chunchi se puede observar que se localiza en una zona con un relieve montañoso acompañados de pendientes bastantes abruptas (flecha roja).

### 3.3.2 Factores desencadenantes

Son aquellos factores que tienen una acción activa en la remoción en masas en laderas, que provocan la inestabilidad (Figura 3.16).



**Figura 3.16** Factores desencadenantes. (INDECI, 2011)

En el área de estudio por medio de las recopilaciones bibliográficas y observaciones de campo, se identificaron como posibles factores desencadenantes a: clima, sismicidad y el uso de suelos.

#### **Clima**

El Cantón Chunchi presenta abundantes precipitaciones a lo largo del. Posee dos importantes periodos de precipitaciones, del mes de enero hasta abril las lluvias son más abundantes mientras que del mes de junio a noviembre hay menos lluvias (GAD Municipal, 2014). Las abundantes precipitaciones facilitan la infiltración de agua en el suelo.

#### **Uso del suelo**

Existen diversas actividades en el sector como las construcciones de zonas urbanas, complejos educacionales y recreacionales, que en su mayoría no están correctamente ubicadas debido a la inexistencia de una ordenanza municipal que



pueda regular el crecimiento urbano. También en su mayoría el suelo es usado por los pobladores para actividades agrícolas y ganaderas.

En las salidas de campo a la zona de estudio se identificó una piscina de oxidación mal impermeabilizada, donde se acumula las aguas residuales del sector ubicada en la mitad del talud cercano al sector valle de La Armenia (Fotografía 3.4).



**Fotografía 3.4** Piscina de oxidación (mayo, 2021). Ubicada en la mitad del talud en las coordenadas UTM (730199, 9747052), se utiliza para la acumulación de aguas residuales de la zona.

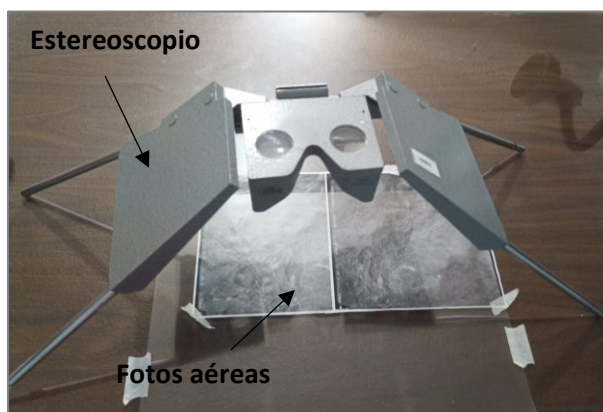
### **3.4 ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS EN MASA**

#### **FOTOGEOLOGÍA**

La fotogeología es la interpretación a través de fotos aéreas de una zona determinada (Guerra, 2003), para esto se usaron fotos aéreas del año de 1989 y 1988 adquiridas del Instituto Geográfico Militar (IGM) del cantón Chunchi (Tabla 3.1). Con el estereoscopio y los acetatos colocados encima de las fotos aéreas se dibujó e identificó los diferentes movimientos en masa antiguos de la zona (Fotografía 3.5). La fotogeología permitió reconocer con mayor facilidad los rasgos característicos de los movimientos en masa y poder trazarlos para después poder escanearlos y crear una cartografía en el software QGIS 3.24.3 (Fotografía 3.6)

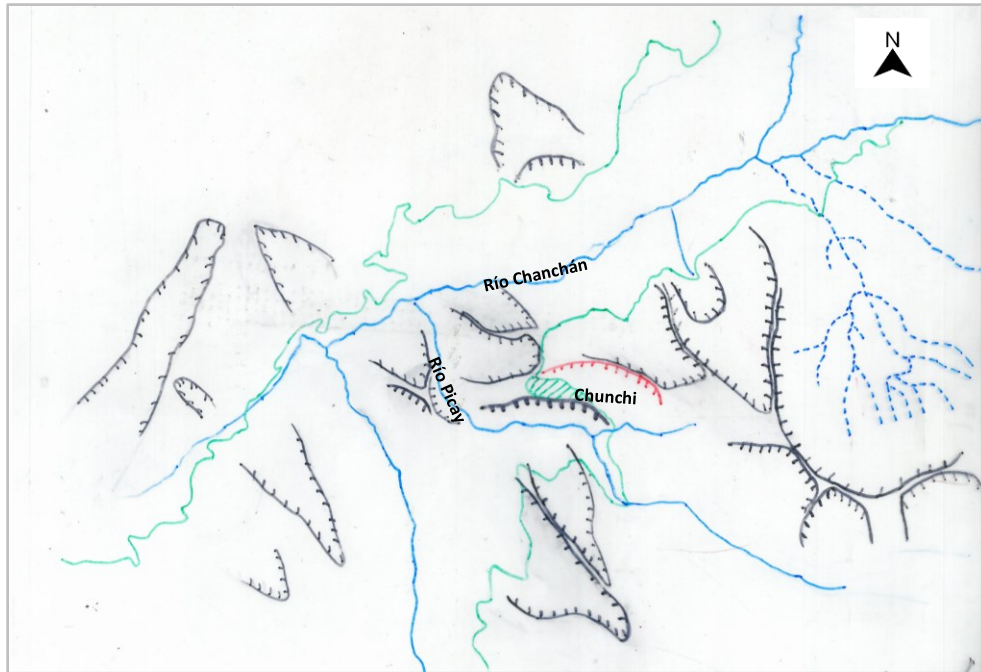
FOTOGRAFIA	ROLLO	PROYECTO	AÑO
27063	152	CARTA NACIONAL	1989
27062	142	CARTA NACIONAL	1989
27061	142	CARTA NACIONAL	1989
27337	142	CARTA NACIONAL	1989
25018	133	CARTA NACIONAL	1988
25019	133	CARTA NACIONAL	1988
27664	144	CARTA NACIONAL	1988

**Tabla 3.1** Fotografías aéreas del año 1989 y 1988 adquiridas del Instituto Geográfico Militar (IGM) utilizadas para la fotointerpretación de los movimientos en masa en el cantón Chunchi.



**Fotografía 3.5** Estereoscopio. Aparato que permite ver imágenes en 3D, se utilizó para el reconocimiento de los movimientos en masa con ayuda de las fotos aéreas obtenidas del Instituto Geográfico Militar.

El estudio fotogeológico favorece el reconocimiento de los rasgos morfológicos, característicos de los movimientos en masa. Tras el trazado de estos, se escaneó y digitalizó la información en el software libre QGIS como se muestra en la figura siguiente:



**Figura 3.17** Movimientos en masa de la zona de estudio escaneado para crear la cartográfica en el software QGIS.

Por medio del uso de Google Earth Pro, se hicieron reconocimientos de movimientos en masa actuales de la zona, con el fin de obtener una cartografía de fenómenos de remoción en masa de años diferentes y poder comparar los cambios que ha tenido la zona durante el transcurso del tiempo.

## **CAPÍTULO 4**

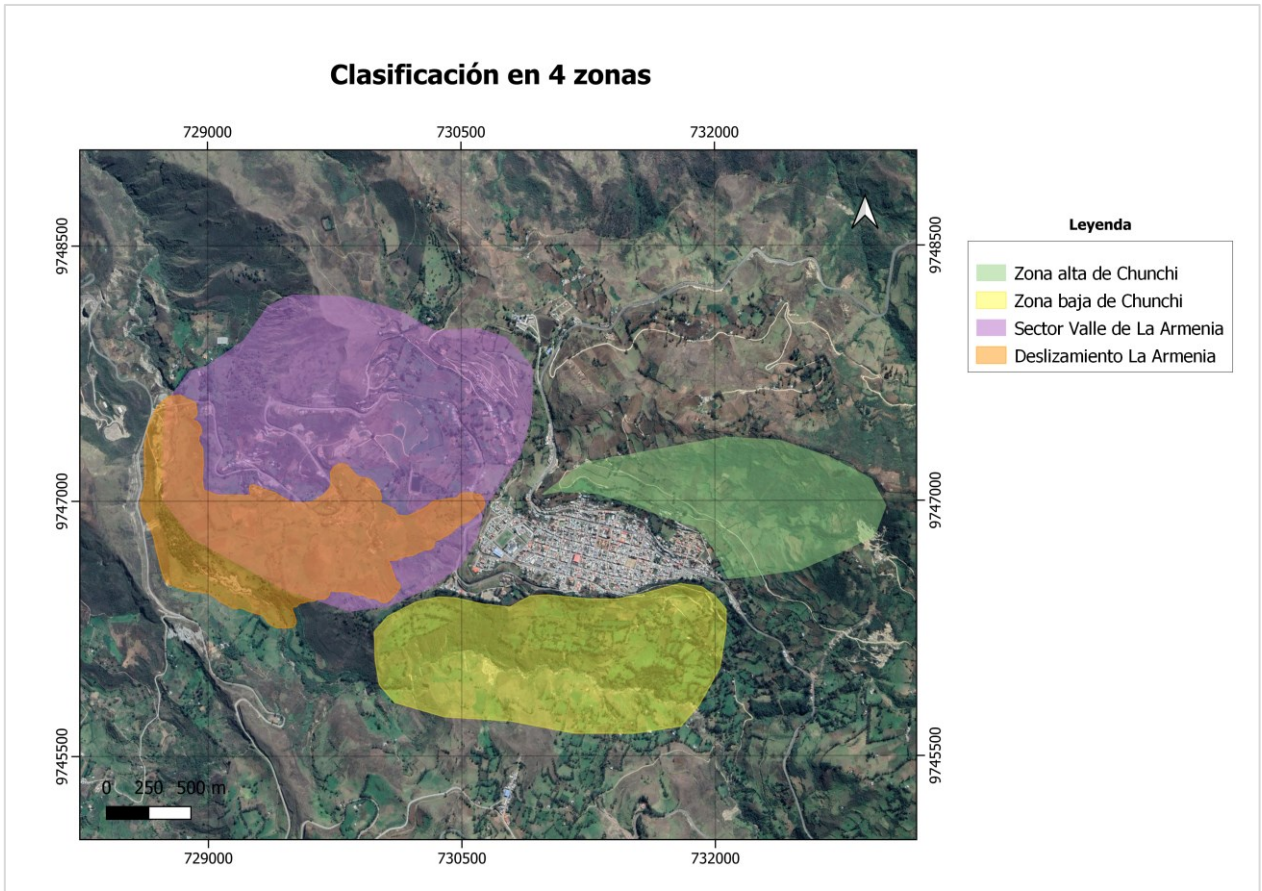
### **4.1 DESCRIPCIÓN DE MOVIMIENTOS EN MASA**

Existen movimientos en masa antiguos, se pueden observar claramente los rasgos de estos macro eventos en las fotografías aéreas de 1989, como también existen movimientos en masa más actuales, que se observan en Google Earth Pro y en las salidas de campo del mes de mayo y diciembre de 2021 hasta agosto de 2022. Se han identificado algunos deslizamientos antiguos los cuales tienen ciertas características importantes como son la presencia grandes escarpes, superficies cóncavas o de cuchara, reptación, aborregamiento en el suelo que permiten diferenciarlos con facilidad debido a su gran magnitud.

En cambio, los deslizamientos actuales se están dando en su mayoría dentro de los deslizamientos antiguos, específicamente a los pies de los taludes y en su mayoría tienen la dirección N-S y S-N hacia el río Picay. Tienen como características principales que no poseen tamaños de gran magnitud como los antiguos que se extienden hasta kilómetros en cambio son de tamaño y escarpes medianos a pequeños llegando solo a extenderse por metros. El deslizamiento más actual en la zona de estudio es el macro deslizamiento de La Armenia.

Para una mejor caracterización de los movimientos en masa se clasifíco el área de estudio en 4 zonas importantes como son: Zona alta de Chunchi, Zona baja de Chunchi, el Sector Valle de La Armenia y el macro deslizamiento La Armenia (Figura 4.1).



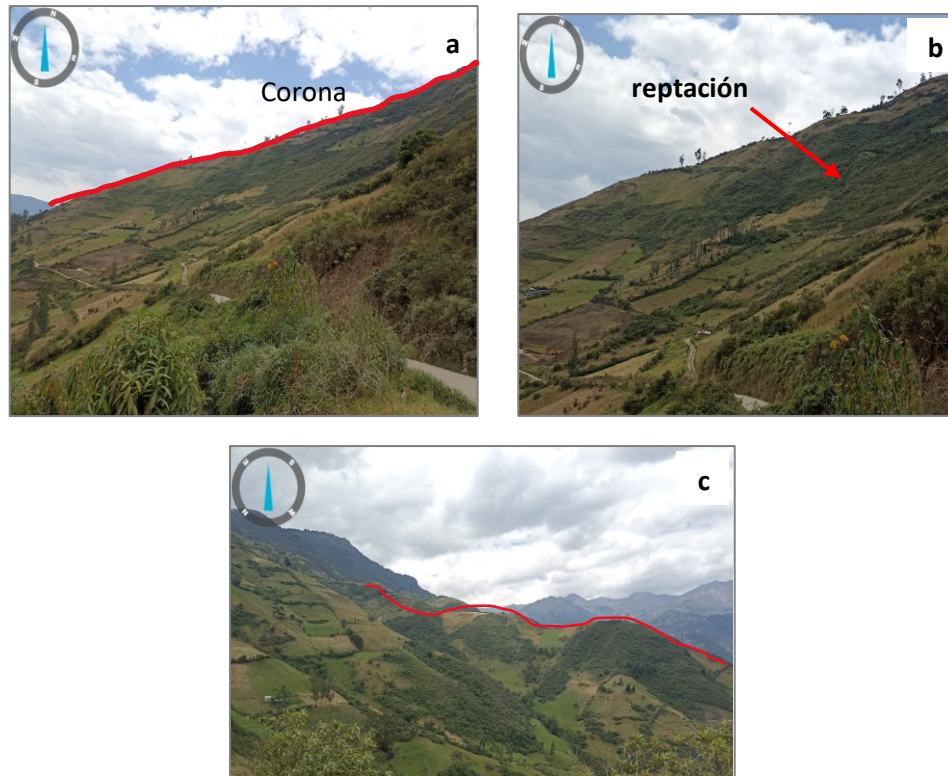


**Figura 4.1** Clasificación del área de estudio en 4 zonas: Zona alta de Chunchi, Zona baja de Chunchi, Sector Valle de La Armenia, Deslizamiento La Armenia tipo rotacional que presenta una dirección de movimiento SW

#### 4.1.1 Zona Alta de Chunchi

En la parte alta y al norte del pueblo de Chunchi se observa el rasgo de un escarpe perteneciente a un macro deslizamiento antiguo de gran magnitud el cual tiene una dirección NE-SW, la corona de este deslizamiento es de aproximadamente 1 km y presenta una pendiente alta de hasta  $45^\circ$ , se observa que la zona de la corona se encuentra estable ya que todo el terreno está cubierto con bastante vegetación (Fotografía 4.1a) lo que indica que es un movimiento inactivo a diferencia de los activos que presentan un crecimiento de vegetación casi nulo debido a movimientos existentes del material. Dentro de esta zona también se observó reptación por la forma de guirnaldas presentadas en el terreno corroborando que la zona donde se

encuentra pertenece a un deslizamiento antiguo, (Fotografía 4.1b). En la parte de la corona no se divisa abombamientos ni aborregamiento lo que sigue corroborando la estabilidad de esta zona a diferencia de algunas zonas más bajas donde se observó abombamientos o formas onduladas en todo el terreno (Fotografía 4.1 c).



**Fotografía 4.1** Corona de deslizamiento. **a)** Se observa la corona del deslizamiento antiguo con cubierta vegetal **b)** Presencia de reptación se puede observar la forma de guinaldas a lo largo del terreno **c)** Abobamientos en el terreno

Esta zona está formada por rocas volcánicas extrusivas compuestas por tobas de colores muy claros como blanquecinos de grano medio a grueso, y en mayor proporción de grano fino las cuales presenta características como subangulosos a angulosas, presentan una alta meteorización. El suelo de ciertas zonas en esta área posee un olor característico de material orgánico.

En las tobas la plagioclasa está favoreciendo a la formación de arcilla y esto produce el cuarteamiento de los depósitos ya que la arcilla al mojarse se expande y al secarse se contrae (Fotografía 4.2). En las zonas más bajas de la corona en el

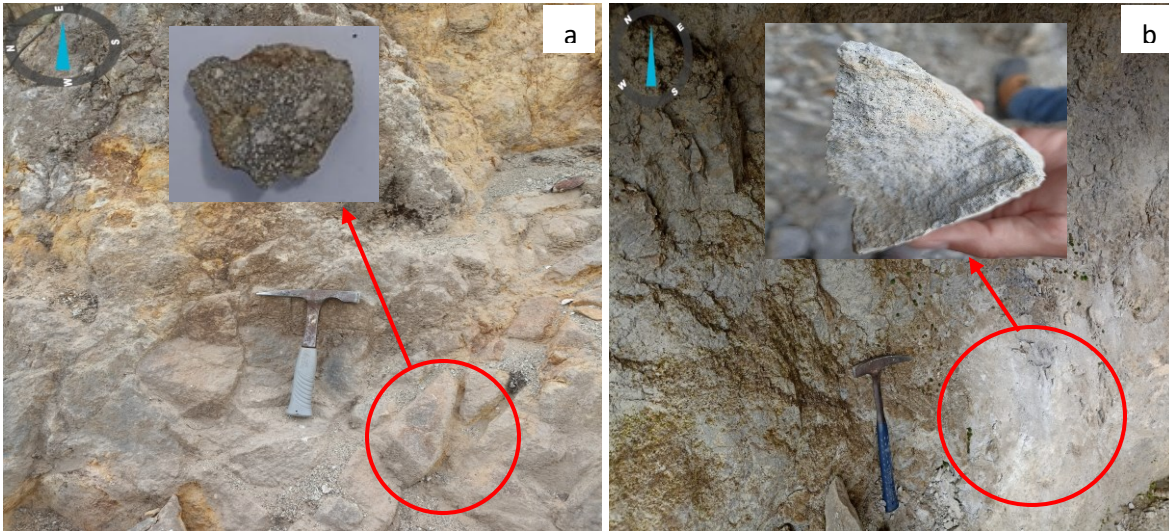
cuerpo del deslizamiento se encuentran tobas más frescas de color gris oscuro más competentes a comparación de las tobas blanquecinas. Las tobas grises presentan minerales como plagioclasas anhedrales y anfíboles alargados que se pueden observar macroscópicamente (Fotografía 4.3a) además presentan fisuramiento en el depósito. Al descender en el deslizamiento se encuentran tobas de color blanquizco silificadas debido a la presencia de cuarzo lo que provoca que la roca sea bastante competente y difícil para romperse, además de ello son bastantes porosas (Fotografía 4.3b).

También se realizó un estudio de granulometría en conjunto con Barrera , (2023) en el cual se recogieron 5 muestras en la zona alta de Chunchi, las muestras CH-GR-04 UTM (731490 / 9747321), CH-GR-05 UTM (731445 / 9747180), CH-GR-06 UTM (731401 / 9746931), CH-GR-07 UTM (731321 / 9747093) y CH-GR-08 UTM (730985 / 9747051) dieron como resultado que poseen un porcentaje mayor al 50% hasta aproximadamente el 88% de material fino (Anexo2) corroborando la presencia de una proporción mayor de tobas finas en la zona.



**Fotografía 4.2** Depósito de tobas. Tobas de colores claros pero amarillentas por la alta meteorización, en la imagen de la izquierda se observa el cuarteamiento que presenta el depósito debido a la arcilla, deposito poco competente y fácil de romper. UTM (734013 / 9747993)





**Fotografía 4.3** Tobas. **a)** Deposito de tobas de color gris oscuro UTM (734055 / 9747739)  
**b)** Deposito de tobas silificadas que son porosas y bastantes competentes y difíciles para romper UTM (731384 / 9746619).

A lo largo de la zona alta de Chunchi se identifica algunas variables que afectan la estabilidad del talud, se observa bloques métricos ubicados en su mayoría al borde de las calles, algunos de ellos se encuentran fisurados y agrietados (Fotografía 4.4 a) los cuales podrían desprenderse. También se divisa deslizamientos pequeños (métricos) con una orientación N-S que bordean los caminos en la zona (Fotografía 4.4b).

Existen también algunas mineras artesanales de áridos (Fotografía 4.4c) las cuales podrían causar deslizamientos por la inadecuada e ineficiente explotación. Las variables mencionadas aportan a la inestabilidad del terreno acompañado a la presencia de arcilla ya que mientras más agua se infiltre existirá más peso en el talud lo que provocara el aumento de las fuerzas motoras.



**Fotografía 4.4** a) Bloques métricos al largo de los caminos b) deslizamientos pequeños en los bordes de los caminos c) mineras artesanales de áridos UTM (731490 / 9747321)

#### 4.1.2 Zona baja de Chunchi

Bajo el pueblo de Chunchi se encuentra la terraza (superficie erosionada plana o con pendiente sobre un sustrato rocoso) de Chunchi, dentro de esta zona al pie del talud se observa algunos deslizamientos pequeños (métricos) en dirección N-S hacia el río Picay. Al frente de la terraza también se divisa deslizamientos rotacionales por sus superficies cóncavas, con escarpes pequeños de hasta 100 m que tienen una dirección de S-N hacia el río Picay (Fotografía 4.5).



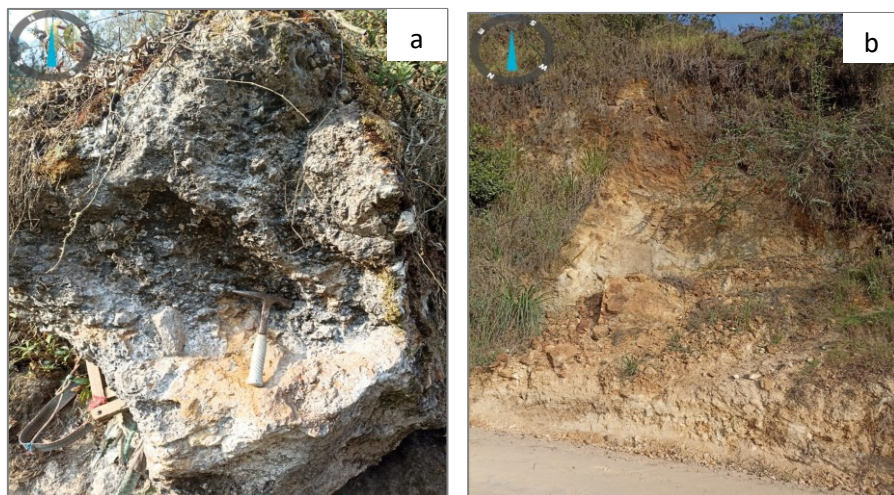
**Fotografía 4.5** Deslizamientos rotacionales al frente de la terraza de Chunchi, tienen una dirección de S-N hacia el río Picay

En esta zona es típico las superficies aborregadas y onduladas en todo el terreno, no se observa reptación ya que no se divisa la típica forma de guirnaldas en el terreno por ello tampoco existen arboles inclinados ya que estos se producen o son afectados por la reptación. Se observa también bloques de hasta 1 metro a lo largo de la pendiente, estos bloques subredondeados bastante rígidos y muy difíciles de romper por la presencia de tobas silificadas (Fotografía 4.6a).

En su mayoría los depósitos son color café amarillento a diferencia de la planta alta que tiene tobas claras blanquecinas y grises oscuras en esta zona existen en menor cantidad, también se siguen encontrando clastos de tobas silificadas en menor cantidad las cuales pueden haber rodado de zonas más altas ya que estas se encontraron en la zona alta de Chunchi. En ciertas zonas se encuentran tobas mucho más meteorizadas debido a la presencia de agua que aceleran este proceso haciéndolas menos competentes y más deleznable al contacto (Fotografía 4.6b).

Se realizó el estudio de granulometría con Barrera, (2023) en la cual se recogieron 6 muestras en esta zona baja de Chunchi, donde 4 muestras las CH-GR-09 UTM (731346 / 9746464), CH-GR-10 UTM (731238 / 9746196), CH-GR-11 UTM (730825 / 9745513) y CH-GR-16 UTM (730627 / 9746519) están compuestas por más del 50% entre arenas y gravas y muy poca cantidad de material fino ya que solo las muestras CH-GR-12 UTM (730795 / 9745436) y la CH-GR-21 UTM (732224 / 9745737) poseen hasta el 54% de material fino (Anexo 2).



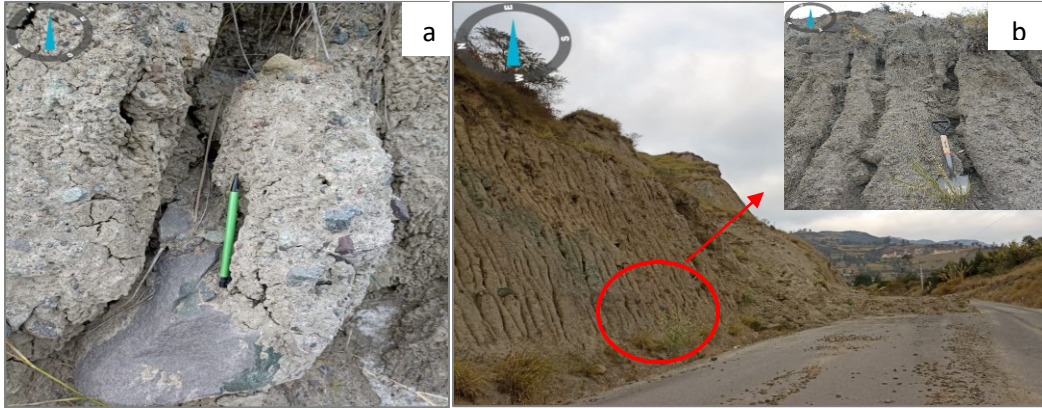


**Fotografía 4.6 a)** Bloques de hasta 1 m muy competente y difícil de romper **b)** Depósito de toba amarillenta café muy meteorizada debido al agua ya que se encuentra cerca de una vertiente UTM (732219, 9745749)

#### 4.1.3 Sector valle de La Armenia

Al oeste del pueblo de Chuchi se encuentra el sector La Armenia se encontraron depósitos cuaternarios como coluviales que están formados por tobas y andesitas de diferentes colores como rojas, verdes, grises claras y oscuras que presentan minerales como la plagioclasa, anfíboles y piroxenos. También se encuentran brechas, todas estas rocas presentan una característica en especial a diferencia de la zona alta y baja de Chunchi que es la presencia de cemento carbonatado (Fotografía 4.7 a). Existen zonas de estos mismos depósitos que presentan una gran cantidad de cárcavas o zonas de erosión donde se están desarrollando desprendimientos debido a la matriz muy poco competente (Fotografía 4.7 b).

En el estudio de granulometría realizada con Barrera, (2023) se recogieron dos muestras aledañas al macro deslizamiento La Armenia ubicado dentro del sector, arrojaron que están compuestas material fino y de medio a grueso. Ya que la muestra CH-GR-24 (UTM, 729731 / 9747703) tiene más del 50% de material fino y la muestra CH-GR-24 (UTM, 729526 / 9747610) tiene un mayor contenido de arena casi del 50% y muy poca cantidad de grava (Anexo2).



**Fotografía 4.7 a)** Brechas, tobas y andesitas de diversos colores y tamaños **b)** cárcavas o zonas de erosión donde ese están dando desprendimientos. UTM (729526 / 9747610).

El sector de La Armenia al ser afectada por el macrodeslizamiento, las zonas aledañas se encuentran inestables dado que presentan grandes agrietamientos y además el terreno se está levantando, dando una forma escalonada (Figura 4.8). Motivo por el cual los pobladores han abandonado sus viviendas y terrenos, para evitar pérdidas humanas ya que estas zonas están en riesgo de deslizarse.



**Fotografía 4.8** Zonas inestables **a)** Levantamiento del terreno en forma escalonada **b)** Grietas a lo largo del terreno. UTM (730130 / 9747899)

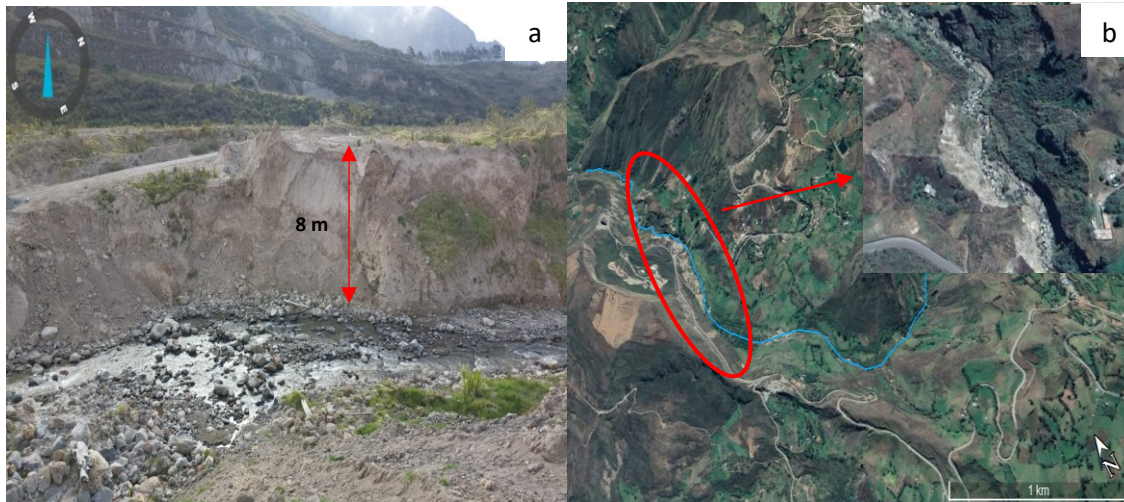


#### 4.1.4 Deslizamiento de la Armenia

El macro deslizamiento ocurrió el 21 febrero del 2020 en el sector Valle de La Armenia, este movimiento en masa fue de gran magnitud, el deslizamiento La Armenia posee un azimut de 165/40 y la dirección del movimiento es al SW en dirección hacia el río Picay. Actualmente está en estado activo debido que presenta evidencia de actividad o movimiento, lo cual se verificó en la salida a campo en agosto del 2022. Presenta un comportamiento de un deslizamiento rotacional, tiempo después se produjo un segundo movimiento que formó un flujo o una avalancha de escombros por el material y el contacto con el río Picay, además de ello presenta tres frentes en la corona con diferente comportamiento tanto rotacional como traslacional. Otra característica importante de este macrodeslizamiento es la deformación severa del suelo que presenta en forma de ondulaciones y escalonamiento en el terreno, también presentó un comportamiento canalizado debido al flujo que se formó por el material saturado en agua y el contacto con el río Picay.

El movimiento en masa causó el represamiento del río Picay, debido al movimiento el material y el flujo que se formó represo el caudal, pero al transcurrir el tiempo el río volvió a su cauce original y esto se corroboró debido a que las terrazas del río actualmente tienen una altura aproximada de 8 metros por el material acumulado del deslizamiento que se consolidó en el río (Fotografía 4.9 a). Antes que sucediera el movimiento en masa la terraza del río era casi plana a diferencia de cómo se encuentra en la actualidad, debido a que se observó en el software Google Earth Pro en el año 2020 la zona del río antes del evento (Figura 4.9b).

Al pie del deslizamiento se puede ver los depósitos coluviales poco consolidados, con matriz clasto soportada, presentan clastos de rocas ígneas como tobas de colores claros y brechas de distintos tamaños desde 0,5 cm hasta 40 cm y angulares. Estos depósitos tienen porciones de material fino como la arcilla que se producen por la meteorización de la toba lo que hace que sea deleznable (Fotografía 4.10).



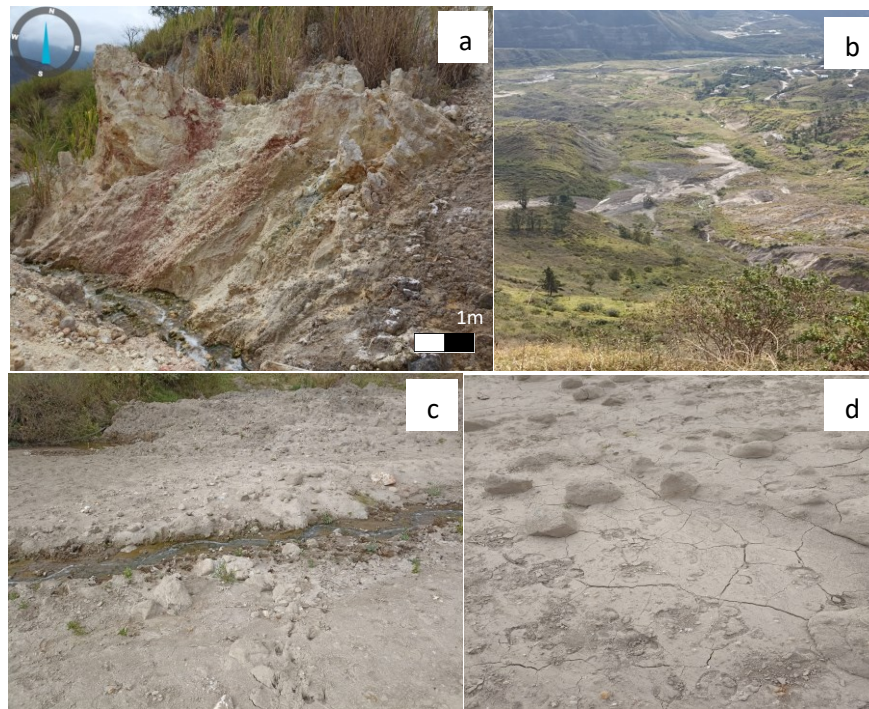
**Fotografía 4.9** Pie del deslizamiento La Armenia. **a)** Terraza del río Picay con una altura aproximada de 8 m **b)** Terraza del río Picay del año 2020.



**Fotografía 4.10** Depósitos coluviales con porciones de material fino como la arcilla en el pie del macrodeslizamiento La Armenia. UTM (728845 / 9747100)

En el cuerpo del deslizamiento se observa la arcilla húmeda de media a fina de color amarillento y poco rojizo en ciertas partes, es clásica, bastante deleznable, tiene una alta plasticidad y esta húmeda (Fotografía 4.11 a), también se encuentran las

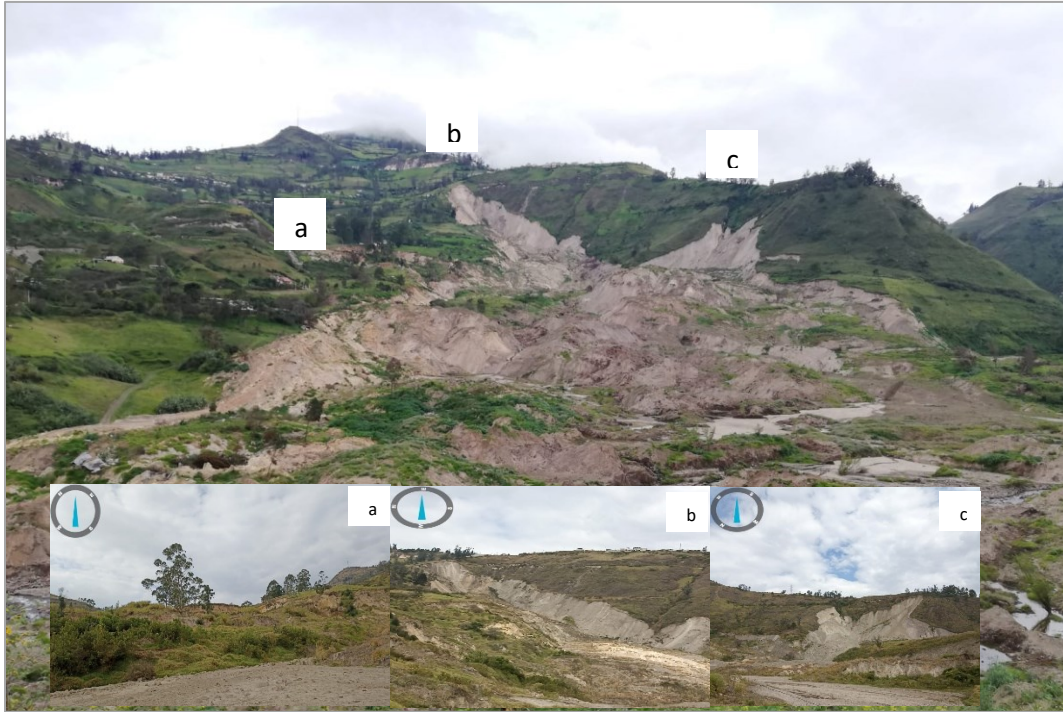
tobas claras blanquecinas y brechas en forma de bloques, gravas y también material fino. Desde febrero de 2021 hasta agosto de 2022 de la última salida de campo se observó que la zona del cuerpo del deslizamiento presenta algunos cambios como es la presencia de cobertura vegetal y la formación de nuevas redes de drenaje las cuales con el tiempo erosionarían las paredes del deslizamiento (Fotografía 4.11 b y c). Por la presencia de la arcilla hay grietas de desecación en el suelo que se forman cuando este tipo de material está en contacto constante con el agua, que se dilata cuando se moja y se contrae al secarse (Fotografía 4.11d).



**Fotografía 4.11** Deslizamiento la Armenia. **a)** Arcilla clástica y bastante deleznable **b)** Cubierta vegetal en el cuerpo del deslizamiento **c)** nueva red de drenaje **d)** Grietas de desecación UTM (729918 / 9747117).

El deslizamiento La Armenia es de tipo rotacional, pero está formado por tres frentes de comportamientos, se identificó tres frentes en la corona que desde la vista frontal del deslizamiento se nombró como: a) frente izquierdo b) frente centro y c) frente derecho (Fotografía 4.12). Estos frentes presentan cada uno un comportamiento y características diferentes detallados a continuación.





**Fotografía 4.12** Vista frontal de los frentes de comportamientos del deslizamiento la Armenia. **a)** frente izquierdo **b)** frente centro **c)** frente derecho.

Para el frente izquierdo es de tipo rotacional pero también tiene una propagación lateral ya que se evidencia el levantamiento del suelo en forma de bloques escalonados debido al medio acuoso y plástico que existe. Presenta grietas de extensión con un rumbo N70E y un buzamiento SE, las grietas llegan a tener una abertura de hasta 10 cm. Además de ello se observa que este frente tiene más del 50% de vegetación y árboles inclinados debido a la propagación lateral que no está removiendo el suelo sino más bien el terreno está siendo movido en forma de bloques.

El frente centro es de tipo rotacional ya que se observa la superficie cóncava o de forma de cuchara típica de este tipo, también presenta grietas de extensión con un rumbo N25W y un buzamiento SW. Esta zona presenta media cobertura vegetal ya que debido a su superficie cóncava el material no tiene mucho movimiento permitiendo el crecimiento de la vegetación.

El frente derecho es de tipo traslacional ya que posee una superficie plana, el material de color crema tipo arenoso se observa que aún está en movimiento y sigue deslizándose por la pendiente casi recta de este frente, por este motivo esta zona presenta muy poca cobertura vegetal ya que el movimiento del suelo no permite que crezca más vegetación. A diferencia de los otros dos frentes este frente izquierdo tiene cuatro grietas de extensión las cuales tienen diferentes direcciones como son: N5S / SE, N60S /SE, N5E /SW Y N40E / SW.

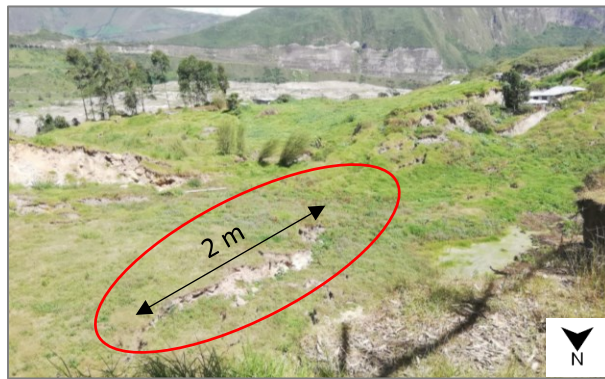
En el estudio de granulometría realizada con Barrera, (2023) se recogieron 4 muestras: CH-GR-13 UTM (729517 / 9746954), CH-GR-14 (729678 / 9746954), CH-GR-15 UTM (729506 / 9746967) y CH-GR-17 UTM (729505 / 9747044) dentro del cuerpo del deslizamiento las cuales indican que poseen más del 50% entre arenas y gravas, indicándonos que el material es de grano medio a grueso. Con la clasificación SUCS se determinó que este tipo de material también está compuesto de material fino el cual es la arcilla que se observa en ciertos lugares del deslizamiento (Anexo 2).

- **Parámetros que influyeron en el deslizamiento de La Armenia**

Los deslizamientos son producidos por diferentes factores que condicionan y desencadenan al terreno provocando la inestabilidad de la zona. Según (SNGRE, 2021b) los factores condicionantes fueron la inestabilidad del terreno debido a la poca consolidación del suelo o roca (Fotografía 4.13) al ser una zona de un antiguo deslizamiento, la presencia de escarpes y grietas activas (Fotografía 4.14), pendientes escarpadas e inclinadas (Fotografía 4.15) , y sobre todo la presencia de agua infiltradas esto debido al clima y alto contenido de humedad existente en la zona.



**Fotografía 4.13** Material poco consolidado en el cuerpo del deslizamiento de la Armenia (Pauca,2021)



**Fotografía 4.14** Grietas. Presencia de grietas en el suelo del sector Valle de la Armenia (diciembre, 2021)



**Figura 4.2** Pendientes abruptas (mayo,2021). Flechas rojas indican pendientes con un alto grado de inclinación en la zona del Sector Valle de la Armenia. (Pauca,2021)

## **CAPÍTULO 5**

### **5.1 SUSCEPTIBILIDAD FRENTE A MOVIMIENTOS EN MASA**

La susceptibilidad es un término que define la tendencia de una zona a ser afectada o hallarse propensa a un determinado proceso en este caso a movimientos en masa (Obregón & Lara, 2013). El análisis de susceptibilidad de una zona determinada se basa en el estudio de los factores que contribuyen a la formación de movimientos en masa, como son los agentes desencadenantes y/o condicionantes (Ayala & Corominas, 2003), el cual permitirá crear un mapa de susceptibilidad a partir de datos cartográficos, geomorfológicos, litológicos, vegetación, uso de suelos y otros, para dar a conocer las zonas o áreas más críticas donde podrían ocurrir movimientos en masa en el futuro (Obregón & Lara, 2013)

Existen diferentes métodos de análisis de susceptibilidad frente a movimientos en masa, para escoger el método adecuado depende de ciertos factores como la calidad y exactitud de los datos, la escala de la zonificación, los resultados requeridos, etc. Se han clasificados en métodos heurísticos, estadísticos y determinísticos (SGC, 2013).

- **Método heurístico**

En este método se categoriza y pondera los factores que influyen en la inestabilidad del terreno para la ocurrencia de movimientos en masa, para este tipo de modelo se utiliza el criterio del experto para estimar el potencial del deslizamiento a través de las variables existentes en una zona determinada (González, 2015).

El análisis heurístico utiliza un grado de subjetividad ya que dependen de la experiencia, conocimiento del investigador y el reconocimiento del área en campo. Existen dos tipos de análisis el geomorfológico que se basa en la experiencia del investigador identificada en campo y el análisis mapa de combinación cuantitativa en donde se determina un peso a cada clase de factor en una serie de mapas (SGC, 2013).

- **Método estadístico**

Este método analiza de forma estadística los factores que influyen en los movimientos en masa, obteniendo valores cuantitativos para cada uno de ellos. Existen dos procedimientos estadísticos como el univariado y bivariado (SGC, 2013). En el análisis estadístico univariado determina un peso o grado a cada factor que posee el terreno hacia la generación de movimientos en masa y el análisis estadístico bivariado combina los factores que han generado movimientos en masa con la frecuencia de ocurrencia de estos eventos para obtener valores ponderados de densidades de movimiento para cada factor (González, 2015).

- **Método determinístico**

Los métodos determinísticos son más fiables y precisos, dado que usa análisis mecánicos y modelos de estabilidad para establecer el factor de seguridad de una ladera. Este tipo de método es recomendable realizarlo en áreas pequeñas como una sola ladera (SGC, 2013).

## **5.2 METODOLOGÍA DE BRABB**

El método de Brabb es un método heurístico de análisis de susceptibilidad que se realiza mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se ha usado desde 1978 por Earl Brabb en California, estos mapas de susceptibilidad de deslizamientos resultantes permiten identificar los posibles riesgos en zonas determinadas (Mellington, 2016). Utiliza factores importantes representados en mapas para evaluar la susceptibilidad a movimientos en masa de un área dada, en este estudio se realizó la superposición de tres mapas: mapa de la cartografía de movimientos en masa, mapa de pendientes y un mapa de litologías.

Según la metodología de Brabb se debe recategorizar las variables de cada uno de los mapas que van a superponerse a través de los criterios personales del autor sobre la zona de estudio. Estos criterios se basaron en las salidas de campo al identificar la cantidad de movimientos en masa que se producen sobre una unidad litológica y sobre que tipo de pendiente.



### 5.2.1 Mapa cartográfico de los movimientos en masa

El uso del mapa de cartografía de movimientos en masa es importante para generar el mapa de susceptibilidad debido a que en las zonas que ocurrieron movimientos en masa pueden ser más propensas a nuevos deslizamientos en el futuro (Mellington, 2016).

Se utilizó el software Google Earth Pro para reconocer los movimientos en masa actuales existentes en la zona de estudio, estos se fueron dibujando con polígonos (Figura 5.1). Después se procedió a subir al software QGIS 3.24.3 para georreferenciarlo y se digitalizó creando un mapa cartográfico de movimientos en masa encontrados en el área a escala 1:25 000 que se puede observar en la figura 6.2, el cual se utilizó para la obtención del mapa de susceptibilidad actual.



**Figura 5.1** Trazo de polígonos para reconocer los movimientos en masa de la zona de estudio (Google Earth Pro, 2022)

- **Recategorización de variables**

La cartografía de movimientos en masa es parte del análisis cualitativo, hace referencia a los diferentes movimientos en masa y su ubicación en el área de

estudio. Al no representar un valor cuantitativo se debe hacer una normalización para su evaluación, para esto se reclasificó cada tipo de movimiento en masa, es decir, a cada uno de ellos obtuvieron una puntuación según la susceptibilidad que represente observada en campo. La puntuación colocada va entre los 30 hasta 100 que representa la mayor susceptibilidad como son los deslizamientos actuales (Tabla 5.1).

<b>Movimientos en masa</b>	<b>Valor</b>
Deslizamientos antiguos	50
Deslizamientos actuales	100
Desprendimientos	90
Reptación	80
Cárcavas	75

mayor susceptibilidad	90	80	75	Menor susceptibilidad
100				50

**Tabla 5.1** Tabla de valores de reclasificación de los tipos de movimientos en masa

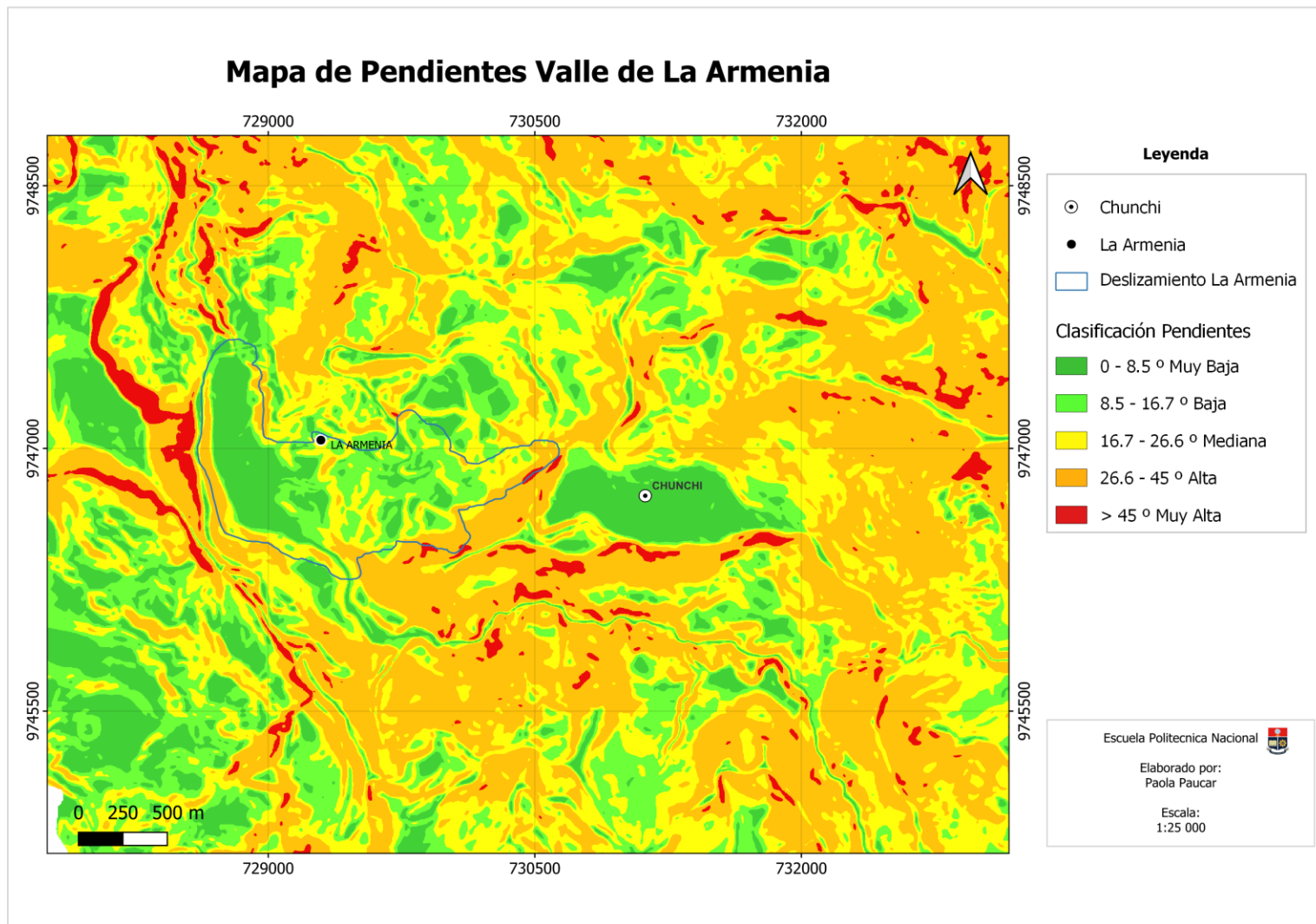
### 5.2.2 Mapa de pendientes

Para generar el mapa de pendientes se utilizó el software QGIS 3.24.3 y con ayuda de un modelo de Digital de Elevación (MDE) del cantón Chunchi obtenido del IGM, se procedió a utilizar la opción **pendiente** que se encuentra en la caja de herramientas de Procesos de QGIS para generar el mapa de pendientes este se muestra en una escala de grises permitiendo modificar y reclasificar los rangos de las pendientes. En este caso se utilizó los rangos de pendientes en grados propuestos por Suárez (2009) que se puede observar en la Tabla 5.2.

Se generó un mapa de pendientes a escala 1:25 000 donde se puede observar y diferenciar por colores los diferentes rangos de pendientes desde muy baja a muy alta (Figura 5.2).

Pendiente (°)	Tipo	Color
0 - 8.5	Muy Baja	Verde
8.5 - 16.7	Baja	Verde claro
16.7 - 26.6	Mediana	Amarillo
26.6 - 45	Alta	Naranja
> 45	Muy Alta	Rojo

**Tabla 5.2** Clasificación de Pendientes según Suárez 2009



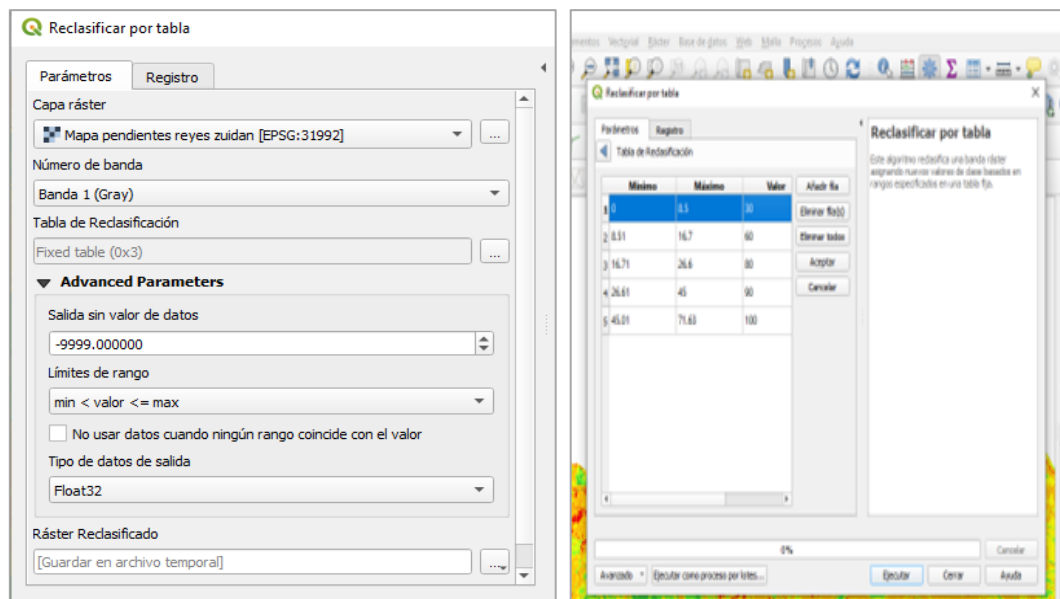
**Figura 5.2** Mapa de pendientes. En la zona de estudio se identificó 5 rangos de pendientes: muy baja, baja, mediana, alta y muy alta.

Se identifica que en la zona de estudio predominan pendientes de mediana a alta (16.7 ° hasta 45 °) ya que la pendiente de muy alta (> 45 °) se dan solo en la ubicación de los escarpes de los deslizamientos antiguos.

- **Recategorización de variables**

Estas pendientes son parte del análisis cuantitativo, hacen referencia al estudio del relieve o la topografía en el cual toma datos de la morfología de la zona específicamente de la inclinación de las pendientes.

En la caja de herramientas de proceso de QGIS 3.24.3 se trabajó con la herramienta **reclasificación por tabla** para la recategorización de variables. Se tiene 5 clases entonces se asignó 5 categorías de clases donde se puso una puntuación de hasta un máximo de 100 según la susceptibilidad de cada rango de pendiente (Figura 5.3). Los rangos con pendientes de puntaje 100 son de mayor susceptibilidad mientras que las pendientes que tengan un puntaje de 30 serán de menor susceptibilidad teniendo un puntaje de valor significativo (Tabla 5.3).

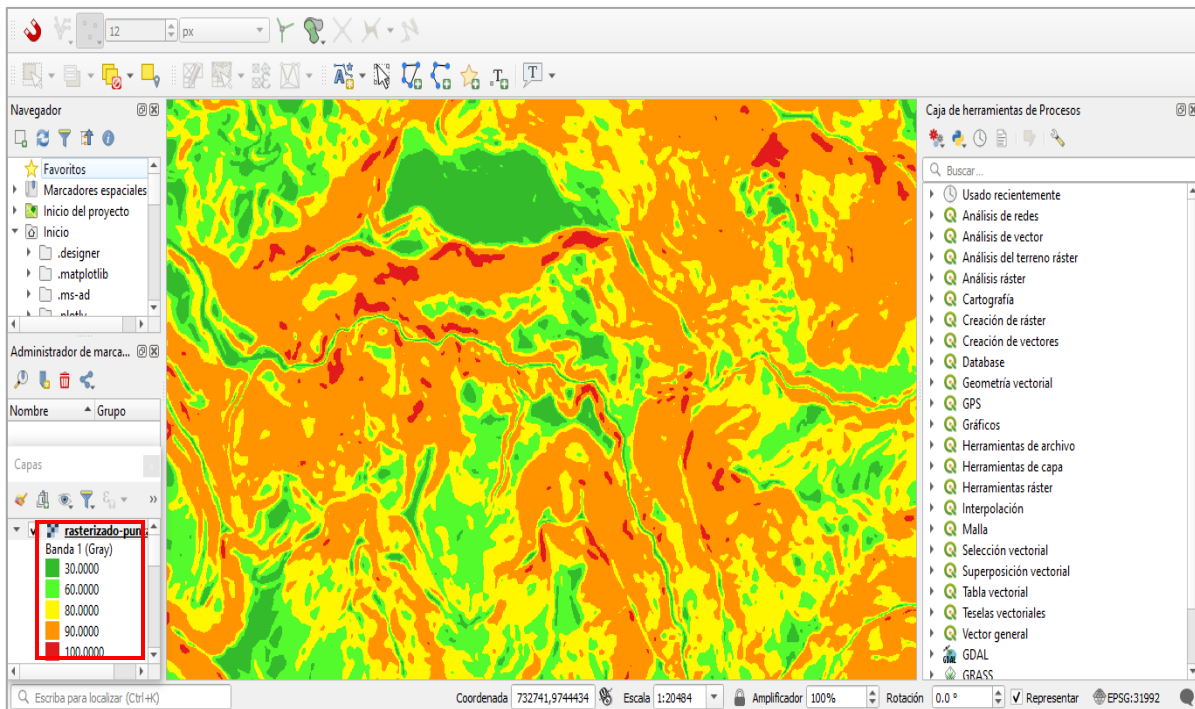


**Figura 5.3** Cuadros de diálogo de la reclasificación por tabla en el programa QGIS 3.24.3

Pendiente	Rango	Puntaje	Color
Muy Baja	0 ° - 8.5°	30	Verde
Baja	8.5° - 16.7°	60	Verde claro
Mediana	16.7° - 26.6°	80	Amarillo
Alta	26.6° - 45°	90	Naranja
Muy Alta	> 45°	100	Rojo

Mayor susceptibilidad	90	80	60	Menor susceptibilidad
100				30

**Tabla 5.3** Tabla de valores de reclasificación para las pendientes.



**Figura 5.4** Mapa de pendientes en QGIS 3.24.3 con los valores de la reclasificación por rango de pendientes

### **5.2.3 Mapa de Litología**

Utilizando el software QGIS 3.24.3 se usó el Modelo de Digital de Elevación (MDE) del IGM, para obtener las curvas de nivel y con ello se trazó los diferentes contactos de las litologías existentes de la zona de estudio. Se elaboró un mapa litológico del valle de La Armenia según la hoja geológica de Alausí (INIGEMM, 2015) a escala 1:25 000. Con las salidas de campo al área de estudio, se caracterizó e identificó las diferentes litologías de la zona para completar una mejor descripción de las litologías que posee el mapa de Alausí.



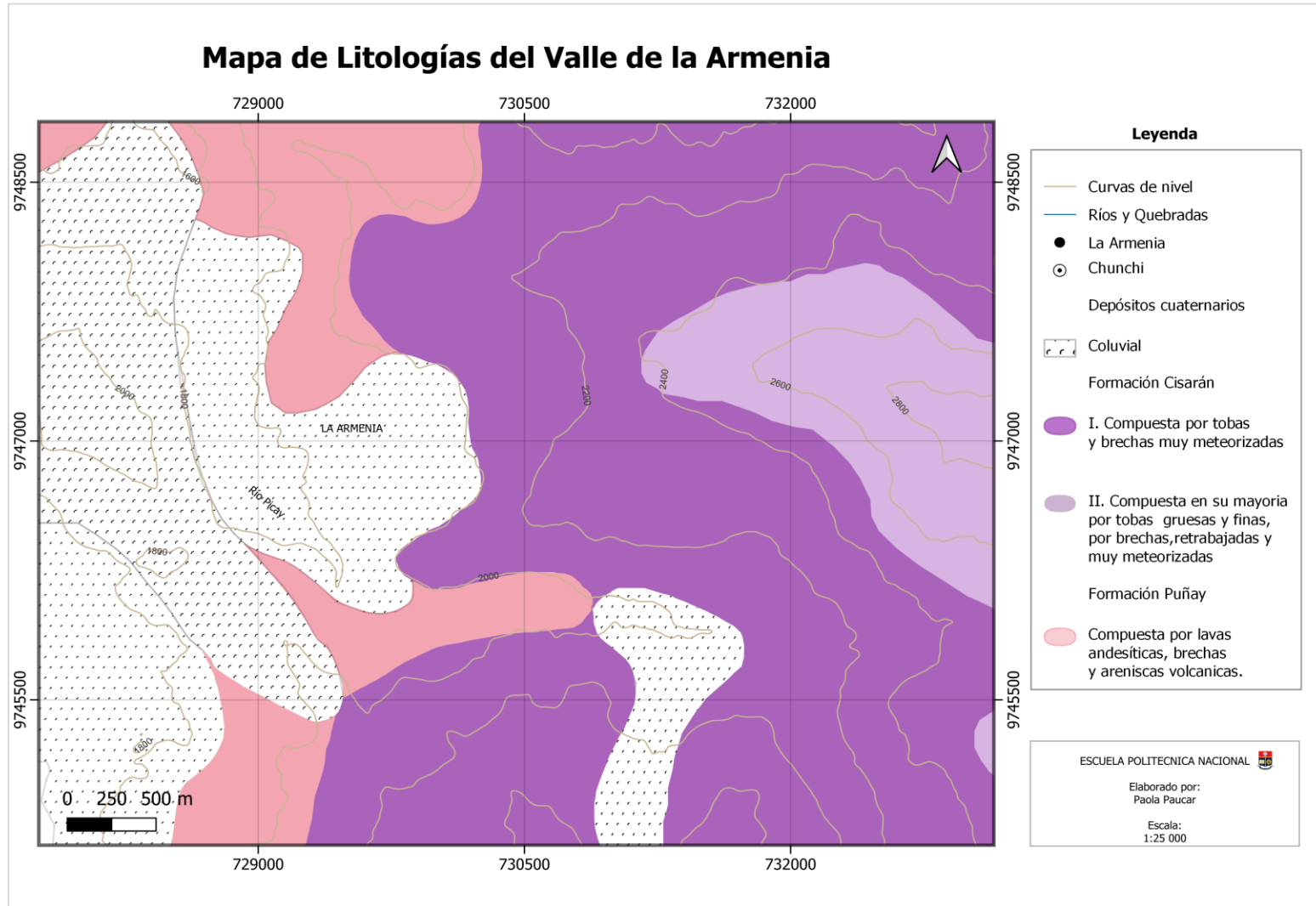


Figura 5.5 Mapa de litologías del sector valle de la Armenia

Se identificó en la zona de estudio las diferentes litologías existentes como la formación Cisarán formada por tres miembros el inferior y superior compuesta por rocas volcánicas como lavas de composición andesítica hasta dacíticas y el miembro intermedio formado por brechas, tobas retrabajadas finas de colores blanquecinos y grises hasta tobas silificadas porosas, también hay andesitas de diferentes colores como grises claras y oscuras, verdes posees minerales como plagioclasa, anfíbol y piroxeno; la formación Puñay compuesta también de rocas volcánicas como lavas de composición andesítica, brechas y areniscas volcánicas posiblemente las tobas de medias a finas y los depósitos cuaternarios compuestos por coluviales no consolidados, poco competentes materiales retrabajados y removidos como tobas claras blanquecinas, grises, tobas silificadas y brechas, todos de diferentes tamaños (Figura 5.5).

- **Recategorización de variables**

La litología es un parámetro cualitativo, que describe el tipo de roca y suelo existente en la zona de estudio. Al no representar un valor cuantitativo requiere una normalización para su evaluación en donde se realizó una reclasificación evaluando con un máximo de hasta 90 y un mínimo de 40 debido a que las características presentadas en cada litología no permiten tener una puntuación baja (Figura 5.4). Los valores altos se deben al material el cual es menos competente, poco resistente, deleznable y se encuentra muy meteorizado en cambio los valores bajos se asignó al material meteorizado, pero más competente y resistente.

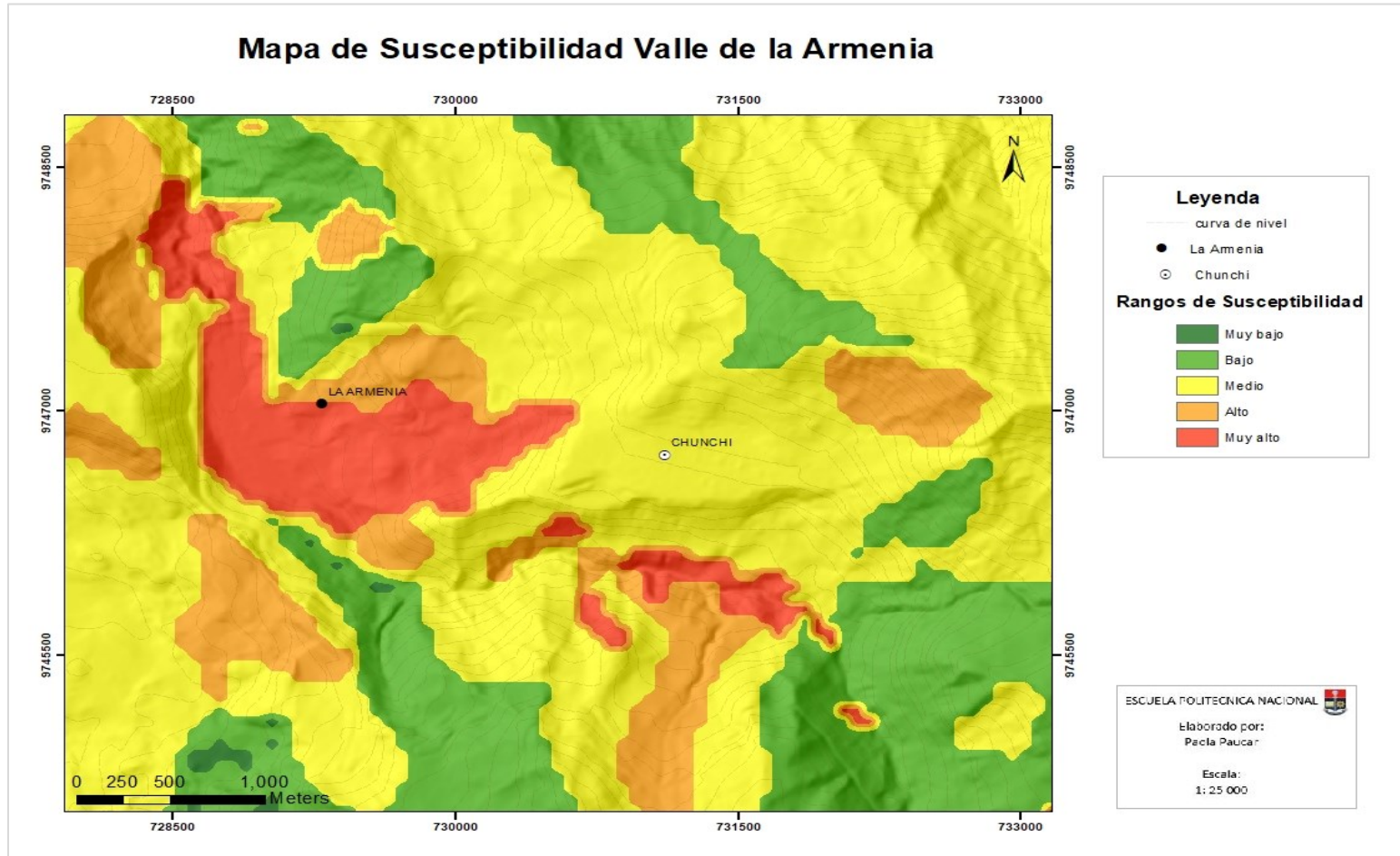
<b>Formación</b>	<b>Valor</b>
Formación Cisarán I	60
Formación Cisarán II	45
Formación Puñay	40
Coluviales	90

mayor susceptibilidad	60	45	menor susceptibilidad
90			40

**Tabla 5.4** Tabla de valores de la reclasificación de cada una de las litologías

### **5.3 Mapa de susceptibilidad**

El mapa preliminar de susceptibilidad (Figura 5.6) se obtuvo por medio del software QGIS 3.24.3 utilizando la calculadora ráster para sumar los tres mapas normalizados con los puntajes de la recategorización antes mencionados: mapa de movimientos en masa, mapa de pendientes y mapa de litología.



**Figura 5.6** Mapa de susceptibilidad. En la zona de estudio se observa rangos de susceptibilidad de muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto

## **CAPÍTULO 6**

### **6.1 DISCUSIÓN E INTERPRETACIÓN**

#### **6.1.1 Análisis de cartografía de movimientos en masa**

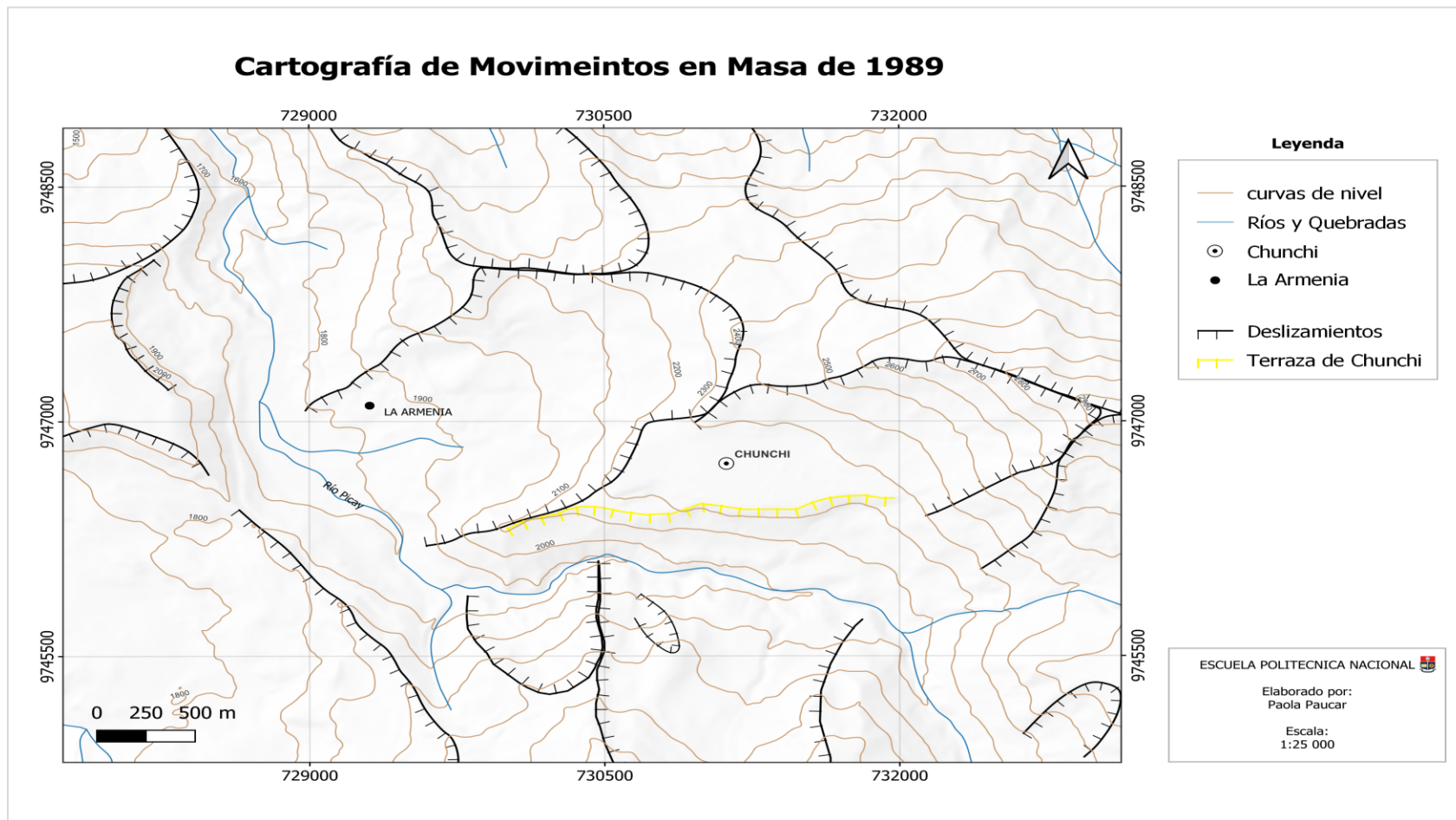
En la zona del sector Valle de La Armenia se cartografiaron 13 movimientos en masa antiguos con las fotografías aéreas de 1989 y 24 movimientos en masa recientes, otros movimientos en masa identificados fueron: desprendimientos, cárcavas y reptación. Estos movimientos en masa se producen sobre formaciones que están compuestas por rocas altamente meteorizadas y fracturadas.

La morfología de la zona de estudio está sujeta a la geometría de los movimientos en masa, provocando con el tiempo la reactivación de los fenómenos de remoción cartografiados en los mapas de movimientos en masa que se presentaran adelante.

Analizando los movimientos en masa de 1989 hasta la actualidad, los rasgos de los deslizamientos antiguos se conservan en la morfología de la zona, las superficies cóncavas se extienden hasta kilómetros en toda el área (Figura 6.1). Los deslizamientos actuales se han incrementado, provocando cambios en la morfología, como son la presencia de superficies cóncavas son producidos por la erosión del río Picay que atraviesa de E-W toda la zona; otros deslizamientos se asociarían a la presencia del material poco consolidado y meteorizado que conforman los taludes que bordean a lo largo del río y de las laderas. Es importante mencionar que la ocurrencia del deslizamiento de La Armenia, debido a su magnitud afectó a todo el sector Valle de La Armenia, en este, ya ha ocurrido un evento antiguo que se observa en la cartografía presentada de 1989 (Figura 6.2). En la actualidad este deslizamiento reciente, presenta un nuevo escarpe y su superficie cóncava, ha afectado a las actividades agrícolas y ganaderas y produjo levantamientos de infraestructura (Fotografía 6.1); lo que en la actualidad se ha perdido debido a la ocurrencia de este macro evento.

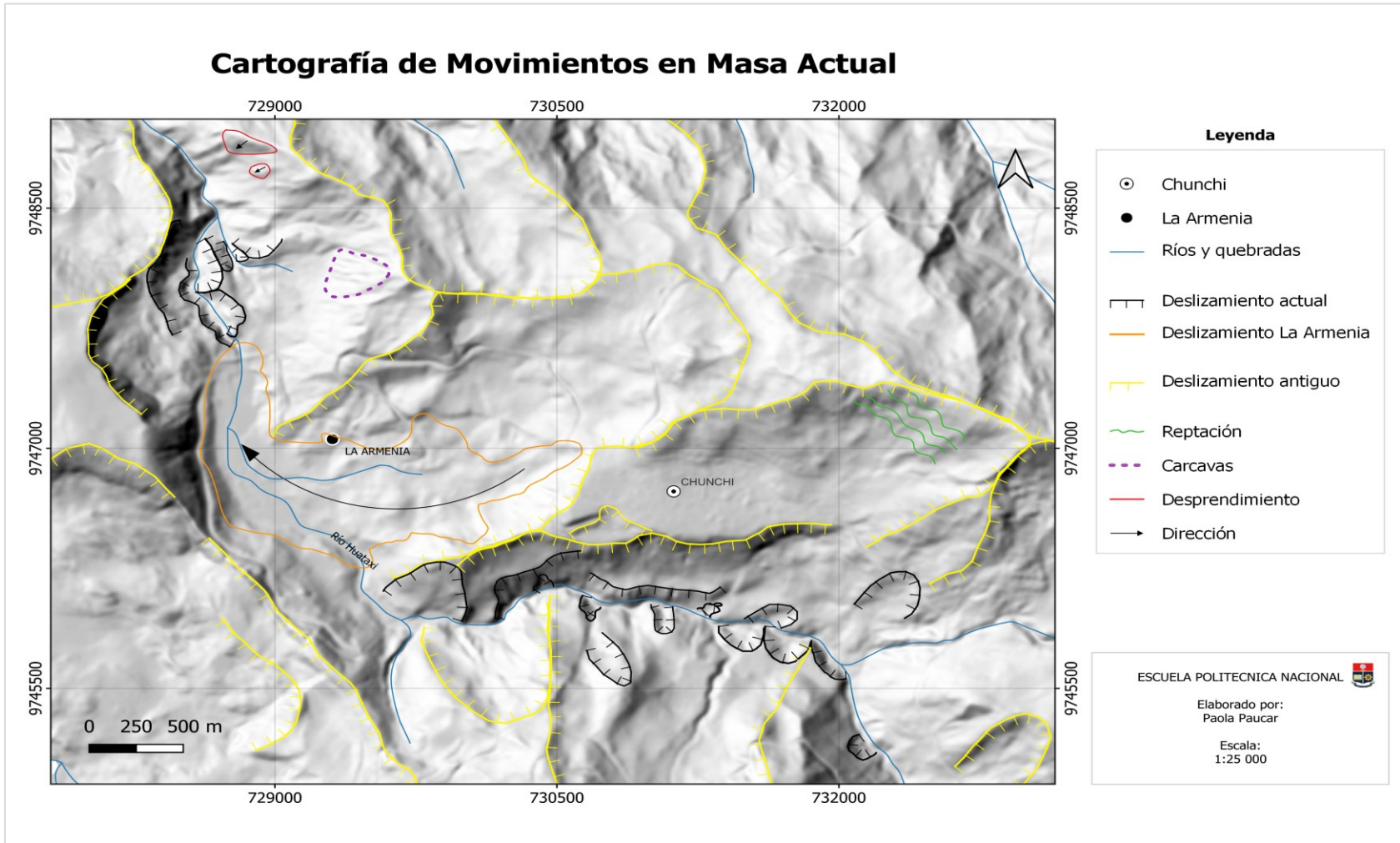


**Fotografía 6.1** Destrucción y pérdida de las calles en el sector valle de La Armenia



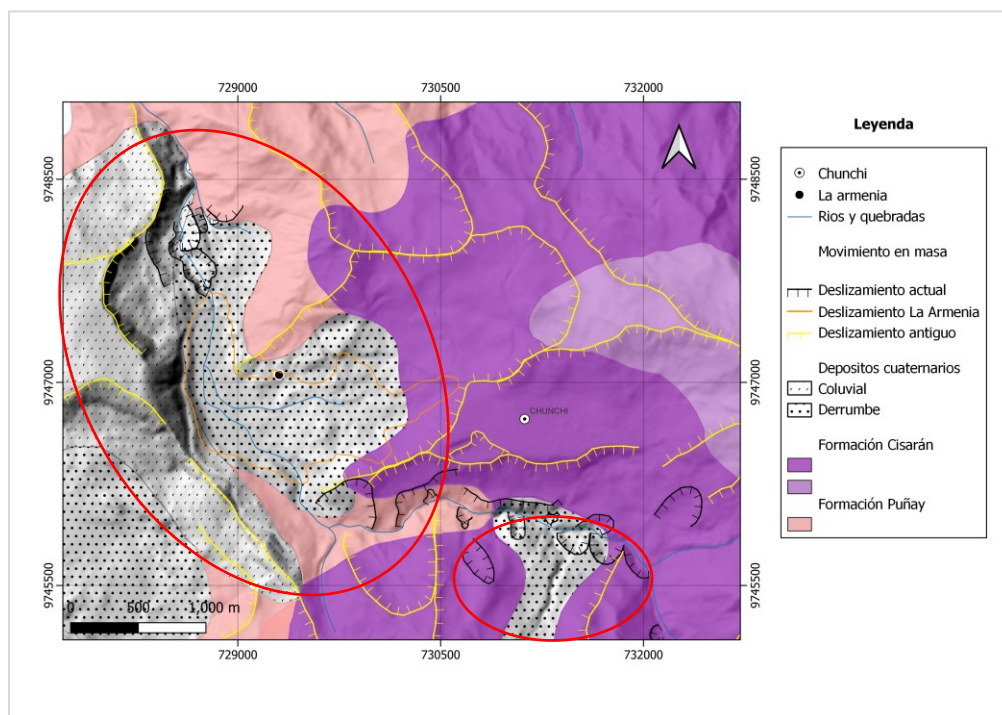
**Figura 6.1** Cartografía de movimientos en masa 1989. Se observa en el mapa los movimientos en masa existentes en la zona hace aproximadamente 20 años atrás.





**Figura 6.2** Cartografía de movimientos en masa actual 2022. Se observa en la zona se estudio movimientos en masa actuales (negro) y movimientos en masa antiguos (amarrillo).

En los dos mapas cartográficos de movimientos en masa se observa un incremento los deslizamientos menores en la zona baja de Chunchi y el sector valle de La Armenia. Estos se forman al pie de los taludes en forma individual o en grupos, además tienen una dirección N-S/S-N hacia el río Picay y sobre pendientes medias a altas (16.7 ° hasta 45 °). Son deslizamientos actuales debido a que sus rasgos de eventos pasados siguen, aún presentes y los cuales se están activando sobre las zonas de depósitos cuaternarios (Figura 6.3) siendo zonas de muy alta y alta susceptibilidad. Además, se observa que en la cartografía de 1989 la existencia de movimientos en masa tipo deslizamiento rotacional que marcan su escarpes en pendientes altas a muy altas (26.6° - >45°), mientras que en la cartografía de 2022 se identificó en mayor cantidad la existencia de deslizamientos rotacionales, reptación, desprendimientos y también se identificó rasgos que marcan erosión hídrica como cárcavas las cuales están formando surcos que están profundizando y más adelante darán paso a la formación de desprendimientos debido al bajo grado de consolidación del material.



**Figura 6.3** Se observa que los movimientos en masa actuales se producen sobre los depósitos cuaternarios y los movimientos en masa antiguos

Los deslizamientos recientes se producen preferencialmente en dirección N-S/S-N y a lo largo del río Picay, el deslizamiento más reciente de La Armenia tiene un sentido NE-SW en dirección al río. Los movimientos en masa ocurren sobre depósitos cuaternarios pertenecientes a antiguos deslizamientos mapeados por el INIGEMM, 2015 como coluviales retrabajados poco consolidados. Otra formación donde suceden es la Formación Cisarán que está compuesta por tobas fisuradas, cuarteadas con alta meteorización en la cual los minerales de la roca como la plagioclasa se está convirtiendo en arcilla de color amarillento y rojizo (Figura 6.4), además de ello esta formación presenta pendientes medianas a altas ( $16.7^{\circ}$  -  $45^{\circ}$ ) que coinciden con los escarpes de los deslizamientos antiguos.

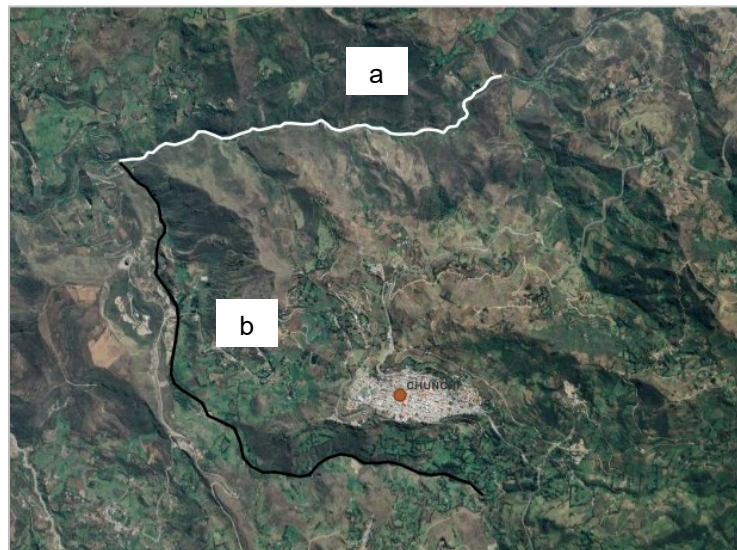


**Figura 6.4** Material ubicado en el cuerpo del deslizamiento de La Armenia (Paucar, 2021)

En base a las fotografías aéreas (Anexo 1) y las salidas de campo, se identificaron varios de los factores que podrían desencadenar movimientos entre ellos figuran la red de drenaje puesto que no existe la presencia de suficientes superficies de desfogue, esto podría deberse a la baja permeabilidad de los depósitos finos así como también acciones de parte de la población que favorecen a la susceptibilidad de movimientos en masa como la deficiencia en los sistemas de drenajes, deforestación para ocupación urbana y actividades agrícolas.

En la zona se han diferenciado dos lineamientos en el río Chanchán y en el Picay que se puede observar en la figura 2.5, los cuales podrían atribuirse a fallas

antiguas, no se identificó evidencia clara de ser fallas activas, pero se observó que los deslizamientos se alinean a lo largo de los dos lineamientos (Figura 6.5) lo que sugeriría una influencia, sin embargo, este estudio no se enfoca en un estudio de estructuras. Además, no se encontró documentos que aseguren que después de un sismo sucediera movimientos en masa en la zona de estudio.



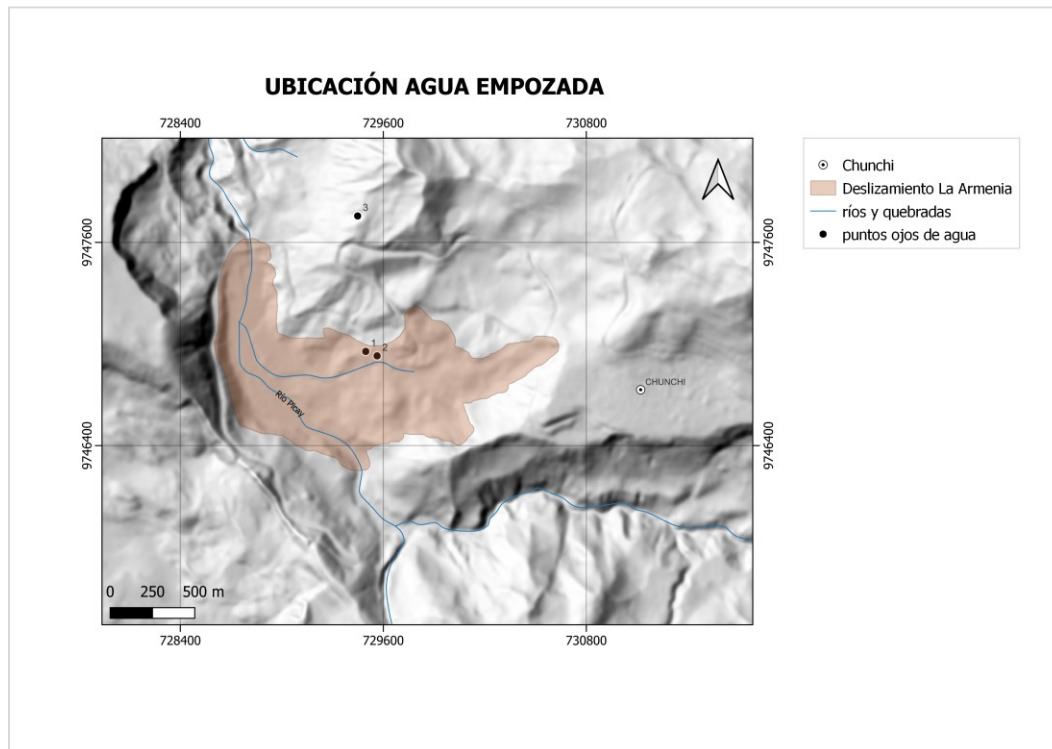
**Figura 6.5** Lineamientos en la zona d estudio. a) Lineamiento del río Chanchan b) lineamiento del río Picay

El factor principal que detona los movimientos en masa en esta área de estudio es la lluvia, ya que el cantón Chunchi presenta precipitaciones en la mayor parte del año, facilitando la infiltración del agua en el suelo. En la zona de estudio también se encontró zonas que contenían agua empozada principalmente ubicados en el cuerpo del macrodeslizamiento de La Armenia (Figura 6.6), además de ello en la visita de campo del mes de agosto de 2022 se observó la existencia de humedad en ciertas zonas del suelo.

Otro aspecto importante es el material dentro del deslizamiento de La Armenia compuesto por arcilla la cual al ser un material de alta impermeabilidad permite la retención de agua evitando su escurrimiento con facilidad (Galán et al., 2018), provocando el fisuramiento y la inestabilidad del material aledaño aumentando la



susceptibilidad en la zona por la ocurrencia de movimientos en masa debido a que mientras más retención de agua exista habrá un incremento del peso de talud.



**Figura 6.6** Ubicación de zonas de agua empozada

Se reconoció que los factores principales como la litología, el mapa de pendientes y la cartografía de influyen sobre los movimientos en masa. Además, se identificó que las actividades antrópicas al ser comparadas hace 30 años atrás, no existía la misma cantidad que en la actualidad, pero aun así ocurrían deslizamientos. Posiblemente se observa una aceleración de la ocurrencia los movimientos en masa a lo largo de los años, mostrando que la actividad antrópica no es el principal detonante para los movimientos en masa. El agua acelera la meteorización, esto disminuye la resistencia del medio, desestabilizando la topografía.

## **6.1.2 Análisis mapa de susceptibilidad**

### **Susceptibilidad baja**

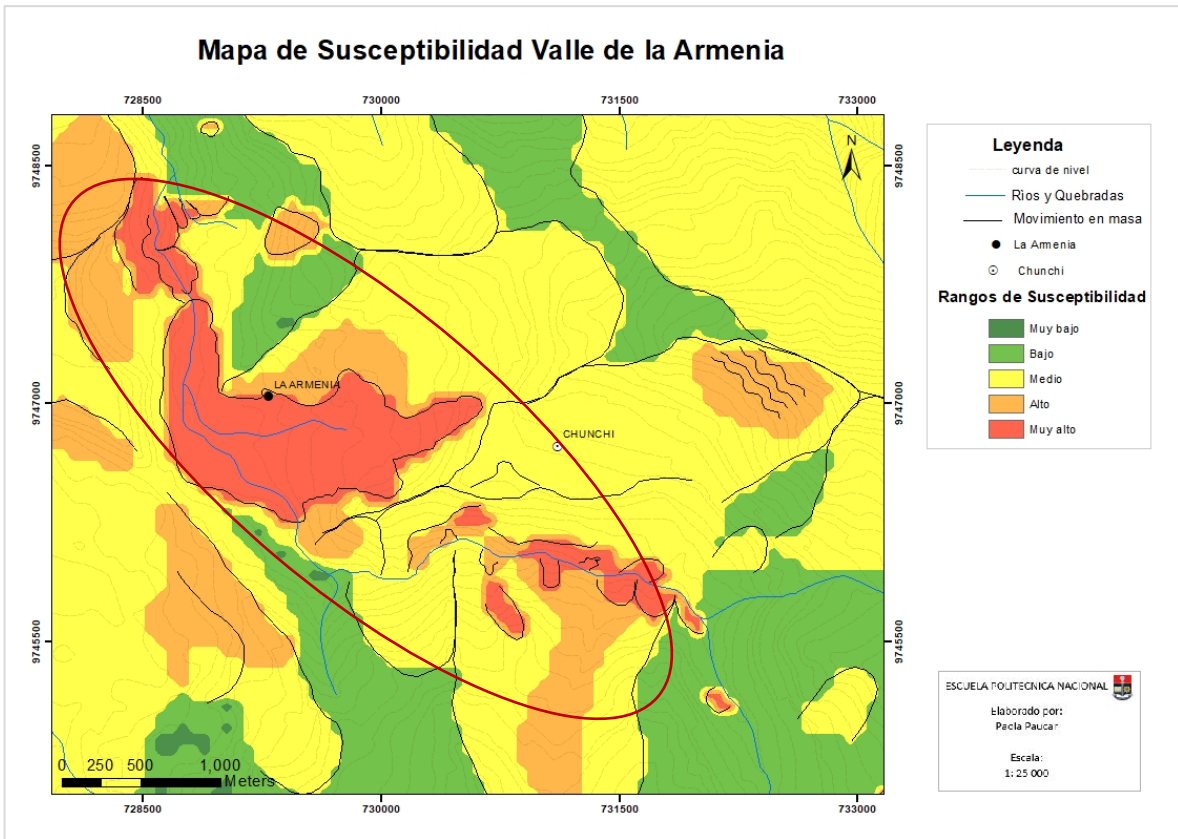
Esta área está atribuida a las zonas donde no se encuentran información cartográfica de movimientos en masa, pero aún existe un factor que es la pendiente, en donde la zona está caracterizada por pendientes medias a altas ( $16.7^\circ$  hasta  $45^\circ$ ) compuestas por material de la Formación Cisarán, sin embargo, no se descarta la posibilidad de que ocurran movimientos en masa en la zona.

### **Susceptibilidad media**

Esta atribuida en su mayoría a las zonas de muy altas pendientes ( $>45^\circ$ ) pertenecientes a los escarpes de los deslizamientos antiguos que están desarrollados sobre material como tobas y brechas. En las visitas de campo se observó que las zonas de escarpes de algunos deslizamientos antiguos poseen menos rasgos de inestabilidad, pero aun así son zonas susceptibles a futuros eventos de movimientos en masa.

### **Susceptibilidad Alta**

En el área de estudio se puede corroborar que las zonas de alta y muy alta susceptibilidad concuerdan con la ubicación de los deslizamientos actuales que son los que están ubicados al borde y en dirección del cauce del río Picay, estos son los que poseen mayor riesgo (Figura 5.5). El macrodeslizamiento de la Armenia y las zonas aledañas, tienen muy alta susceptibilidad indicando la inestabilidad de la zona y lo propenso a futuros movimientos en masa. Estas zonas presentan pendientes altas a muy altas que comprende de  $26.6^\circ$  hasta  $> 45^\circ$  y en su mayoría se están desarrollando sobre los coluviales compuestos por material removido y meteorizado.



**Figura 6.7** Las zonas de susceptibilidad alta concuerdan con la ubicación de los deslizamientos en masa actuales incluido el macrodeslizamiento la Armenia, que bordean a lo largo y en dirección del río Picay.



# CAPÍTULO 7

## 7.1 CONCLUSIONES

- La Formaciones Cisarán I y II está compuesta por tobas finas de colores claros blanquecinos y grises hasta tobas silificadas, que en su mayoría están bastante meteorizadas. Dispuesta sobre esta formación se encuentran los depósitos coluviales retrabajados, deleznales, poco competentes que contienen a los fragmentos de las rocas de La fm. Cisarán, sugiriendo posibles eventos antiguos como movimientos en masa.
- El principal factor desencadenante a la ocurrencia de los movimientos en masa es la lluvia, debido a las altas precipitaciones ya que el contacto con el agua provoca la aceleración de meteorización del material, también la presencia de arcillas finas de alta impermeabilidad permite la alta retención de agua, provocando la inestabilidad en el terreno.
- En la cartografía de 2022 se identificó que los movimientos en masa de tipo rotacional, reptación, los rasgos de erosión hídrica como las cárcavas se están desarrollando sobre la Formación Cisarán y los depósitos cuaternarios.
- Hace aproximadamente 30 años atrás, muestra que la actividad antrópica de la población, como el deficiente manejo de las redes de drenaje, las actividades agrícolas y el asentamiento social, no influyen en gran medida para desencadenar movimientos en masa puesto que la actividad antrópica en tiempos antiguos fue menor y aun así se producía deslizamientos.
- En la comparación de las dos cartografías se identificó que el cambio morfológico más relevante en la zona de estudio es el deslizamiento de La Armenia extendido por kilómetros a lo largo del sector valle de La Armenia.

- El factor condicionante como la litología está influyendo en la producción de movimientos en masa, por el material meteorizado, poco competente y resistente que se encuentra en la zona de estudio.
- El análisis de mapa de susceptibilidad por el método de Brabb indica que en la zona de estudio predomina una susceptibilidad de media a alta. Las zonas de los deslizamientos antiguos presentan una susceptibilidad media, mientras que de los deslizamientos actuales poseen alta a muy alta susceptibilidad, compuestas en su mayoría por coluviales poco compactados y meteorizados. El deslizamiento de La Armenia presenta muy alta susceptibilidad indicando la inestabilidad del terreno y las zonas aledañas.

## **7.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar proyectos de investigación como geología estructural debido a que se identificó dos lineamientos que posiblemente estén ligados a fallas activas o inactivas. Estudios de agua y propiedades geotécnicas de los materiales para caracterizar de mejor manera los factores detonantes de los movimientos en masa.
- Es recomendable utilizar otras metodologías de evaluación de susceptibilidad que proporcionen fórmulas para calcular valores más precisos para las diferentes variables, dado que el método de Brabb usa la percepción del autor para dar valores a las variables.
- Mantener el monitoreo de la zona de estudio puesto que se observa en los mapas de análisis de susceptibilidad que la mayor parte del área posee zonas de susceptibilidad alta a la ocurrencia de movimientos en masa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara, I. (1999). Landslides: ¿deslizamientos o movimientos del terreno? Definición, clasificaciones y terminología. Boletín del instituto de Geografía, UNAM. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n41/n41a2.pdf>
- Arévalo, D., & Parias, J. (2013). Análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa en la región del boquerón ubicada entre los departamentos de cundinamarca y tolima mediante el uso de un sistema de información geográfica de libre distribución [Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/931>
- Aspen, J., Harrison, S. H., & Rundle, C. C. (1992). New geochronological control for the tectono-magmatic evolution of the metamorphic basement, Cordillera Real and E! Ore Province of Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*.
- Ayala, C., & Corominas, J. (2003). Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG.
- Barrera, G. (2023). Modelo conceptual hidrogeológico preliminar y calidad de agua subterránea en la terraza de Chunchi, provincia del Chimborazo [Unpublished]. Escuela Politécnica Nacional.
- Copons, R., & Tallada, A. (2009). Movimientos de ladera. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra.
- Crozier, M. (1986). *Landslides: Causes, Consequences and Environment*. Croom Helm.
- Drobe, J., Lindsay, D., Stein, H., & Gabites, J. (2013). Geology, Mineralization, and Geochronological Constraints of the Mirador Cu-Au Porphyry District, Southeast Ecuador. *Society of Economic Geologists*.
- Eguez, A. (2003). Map of Quaternary Faults and Folds of Ecuador and Its Offshore Regions.

- Feininger, T., Bristow, R., & London. (1980). Cretaceous and Paleogene Geologic History of Coastal Ecuador.
- GAD CHUNCHI. (2016). Datos turísticos del Cantón Chunchi. <http://www.municipiochunchi.gob.ec/index.php/turismo?limitstart=0>
- GAD Municipal. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Chunchi.
- Galán, C., Nieto, M., & Forstner, J. (2018). Notas sobre técnicas de exploración de cuevas en arcilla en la región semidesértica de las Bardenas. Sociedad de ciencias Aranzadi.
- GEMMA. (2007). Movimientos en masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas (Vol. 4).
- González, M. (2015). Comparación entre los métodos heurístico, estadístico univariado y estadístico bivariado, para la zonificación de amenazas por movimientos en masa a escala 1:25.000 en el municipio de Santa Bárbara, departamento de Antioquia. Universidad EAFIT.
- Granados, O., & Torres, J. (2008). Lineamientos no estructurales para mejorar la gestión de los riesgos por amenaza de reptación en la zona “los tanques” en el municipio de Choachí cundinamarca [Proyecto curricular de ingeniería catastral y geodesia]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Guerra, F. (2003). Las doce principales reglas de la interpretación fotogeológica y las bases fundamentales de que se derivan. UNAM, 50.
- Gutsher, M., Malavieille, J., Lallemand, J., & Collot, Y. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: Impact of the Carnegie Ridge collision.
- Hughes, R., & Pilatasig, L. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador.

- IEE & MAGAP. (2013). "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional. Escala 1: 25 000".
- IGME. (1987). Riesgos geológicos. ETIMSA.
- INDECI. (2011). Manual de estimación del riesgo ante movimientos en masa en laderas (3.a ed.). Instituto Nacional de Defensa Civil.
- INIGEMM. (2015). Hoja geológica del Alausí.
- Mellington, R. (2016). "Análisis comparativo entre método de Brabb y Brabb modificado, para fenómenos de remoción en masa en la cuenca del río Chinambí del Cantón Mira" [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8126>
- Michaud, F., Charbet, A., Collot, J., Sallares, V., Flueh, E., Charvis, P., Graindorge, D., Gustcher, M., & Bialas, J. (2005). Fields of multi-kilometer scale sub-circular depressions in the Carnegie Ridge sedimentary blanket: ¿Effect of underwater carbonate dissolution? ELSEVIER.
- Obregón, C., & Lara, J. (2013). El mapa de susceptibilidad a movimientos en masa: Una herramienta para la gestión sostenible del territorio. Espacio y Desarrollo.
- Ortega, G. (2014). Diseño de un plan de gestión de riesgos y desastres ante eventos de deslizamientos, sismos e incendios para la pontificia universidad católica del ecuador sede esmeraldas [Gestion Ambiental, Pontificia Universidad Católica del Ecuador sede en Esmeraldas]. <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/207>
- Ortuño, M. (2008). Deformación activa en el Pirineo Central: La falla Norte de la Maladeta y otras fallas activas. [Universidad de Barcelona]. <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/64713>
- Ramos, M. (2013). Mapa de susceptibilidad a la caída de bloques en la sierra de la cabrera [Matemática aplicada y métodos informáticos]. Universidad Politécnica de Madrid.

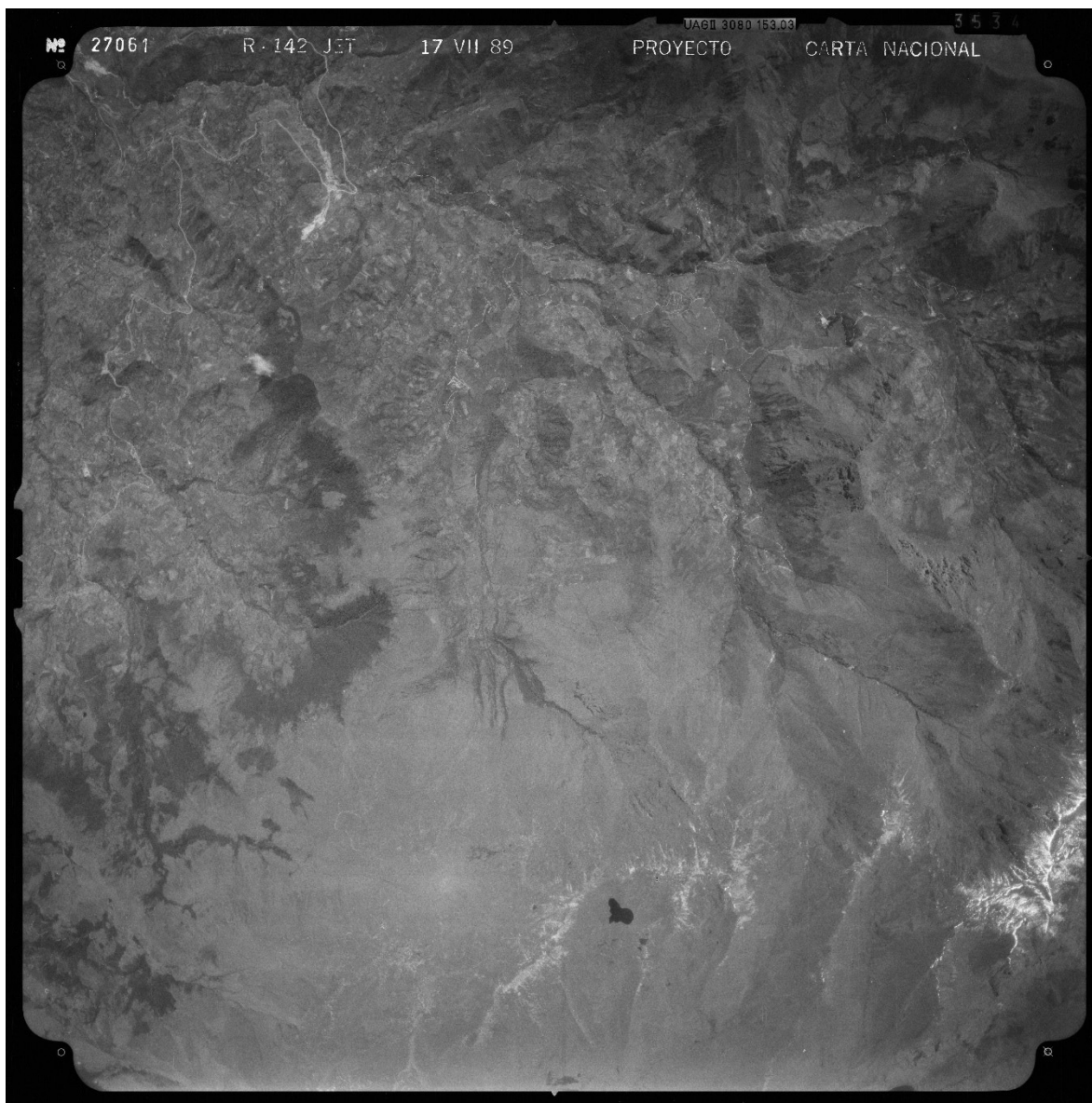
- SGC. (2013). Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano.
- SNGRE. (2021a). Informe de Situación – Deslizamiento Chunchi (Informativo N.o 8; p. 6).
- SNGRE. (2021b). Informe técnico del movimiento en masa en el sector La Armenia del Cantón Chunchi, Provincia Chimborazo (SNGRE-IASR-08-2021-020). Servicio Nacional de Riesgos y Emergencias.
- SNGRE. (2021c). Informe técnico del movimiento en masa en el sector La Armenia del Cantón Chunchi, Provincia Chimborazo (SNGRE-IASR-08-2021-020; pp. 4-5). Servicio Nacional de Riesgos y Emergencias. [https://www.municipiochunchi.gob.ec/phocadownload/Informacion\\_2021/Informe\\_tecnico\\_del\\_movimiento\\_en\\_masa\\_sector\\_La\\_Armenia\\_SNGRE.pdf](https://www.municipiochunchi.gob.ec/phocadownload/Informacion_2021/Informe_tecnico_del_movimiento_en_masa_sector_La_Armenia_SNGRE.pdf)
- SNGRE (N.o 10). (2021d). Servicio de Emergencias y Riesgos. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/Informe-de-Situacion-No-10-Chunchi-01032021.pdf>
- Spikings, R., & Crowhurst, P. (2004). (U–Th) /He thermochronometric constraints on the late Miocene Pliocene tectonic development of the northern Cordillera Real and the Interandean Depression, Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*.
- Suarez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Publicaciones UIS.
- Suarez, J. (2009). DESLIZAMIENTOS. TOMO I: ANÁLISIS GEOTÉCNICO (Vol. 1). Universidad Industrial de Santander (UIS).
- Vallejo. (2021). “Análisis de la vulnerabilidad socioeconómica en el cantón Pallatanga respecto a los factores geodinámicos de la falla geológica de Pallatanga” [Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7519>

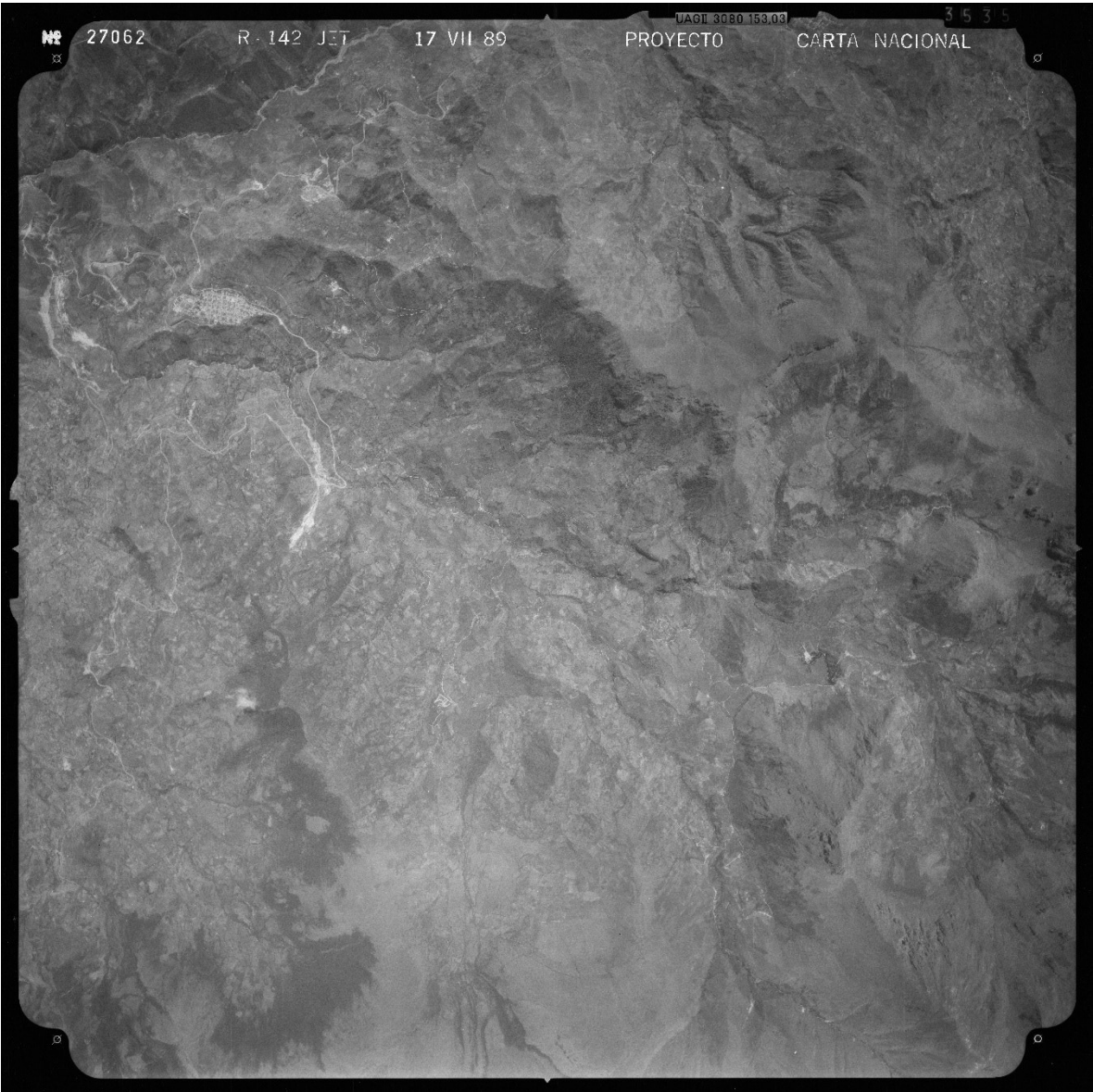
- Vallejo, C. (2007). Evolution of the Western Cordillera in the Andes of Ecuador (Late Cretaceous-Paleogene).
- Vallejo, Spikings, R. A., Horton, B. K., Luzieux, L., Romero, C., Winkler, W., & Thomsen, T. B. (2019). Late Cretaceous to Miocene stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic plateau fragment.
- Vargas. (2000). Criterio para la clasificación y descripción de movimientos en masa. *Boletín de Geología*, 22(37).
- Winkler, W., Villagómez, D., Spikings, R., Abegglen, P., Tobler, S., & Egeuz, A. (2005). The Chota basin and its significance for the inception and tectonic setting of the inter-Andean depression in Ecuador. *Journal of South American Earth Sciences*.

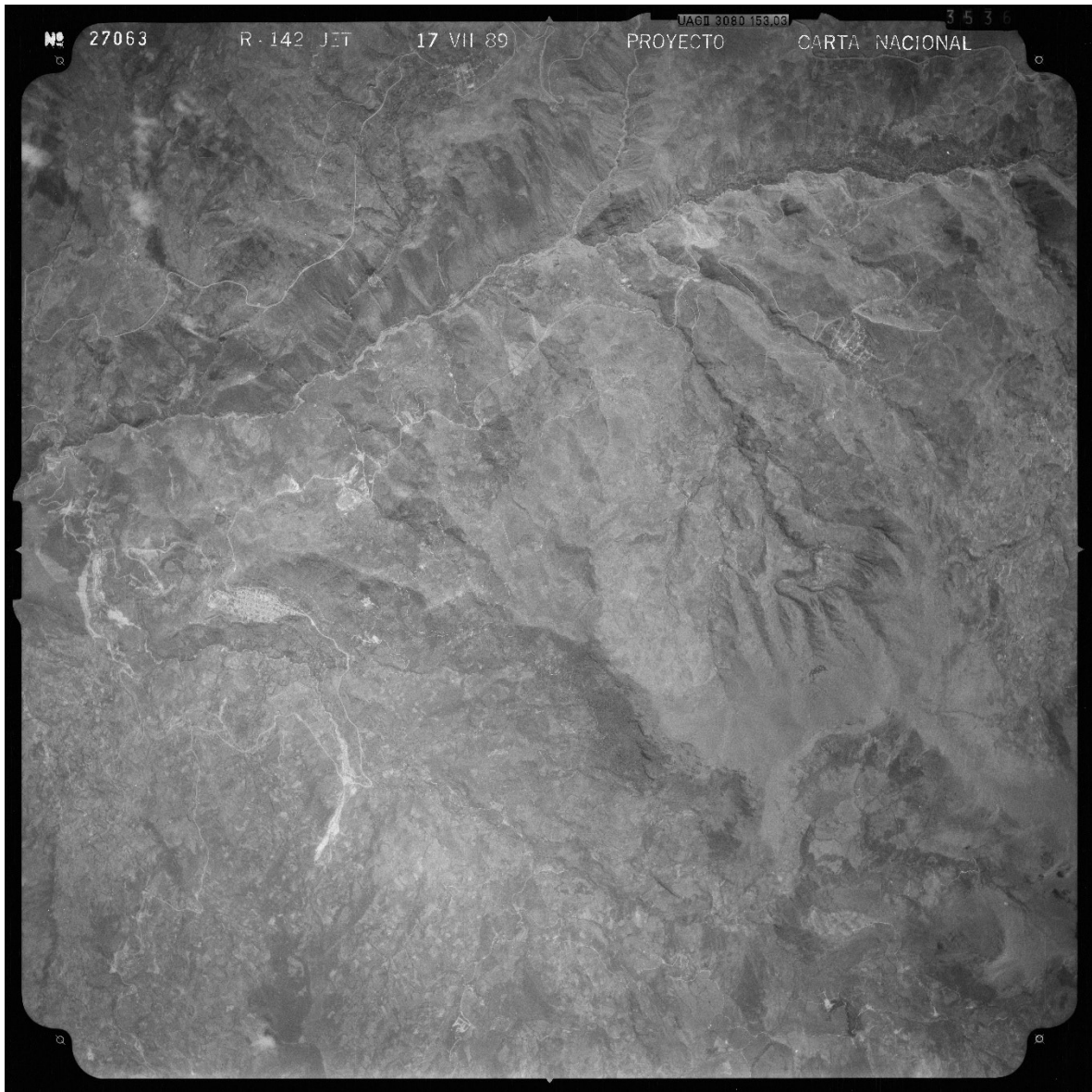


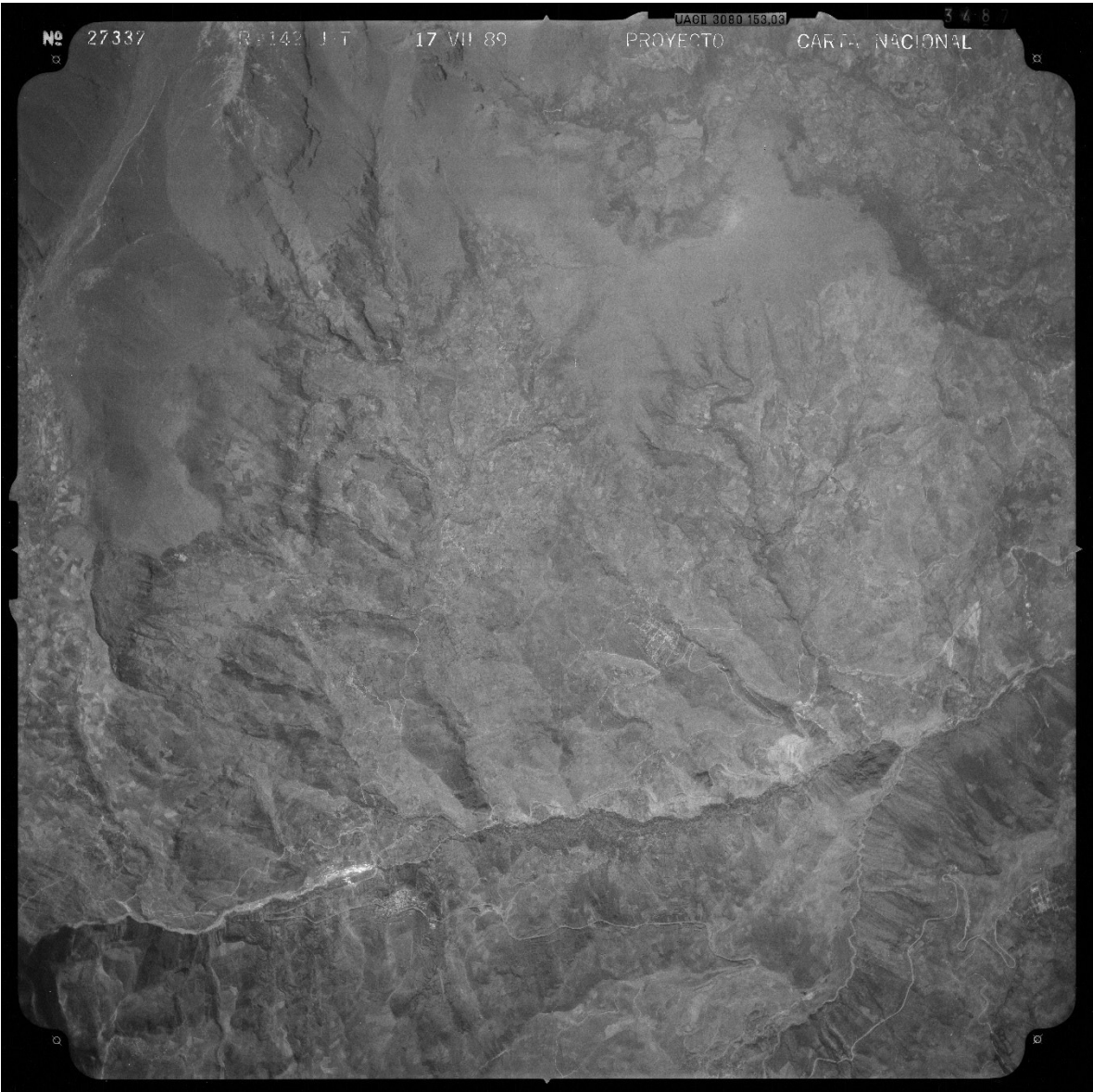
## 8. ANEXOS

### 8.1 ANEXO I. Fotografías Aéreas

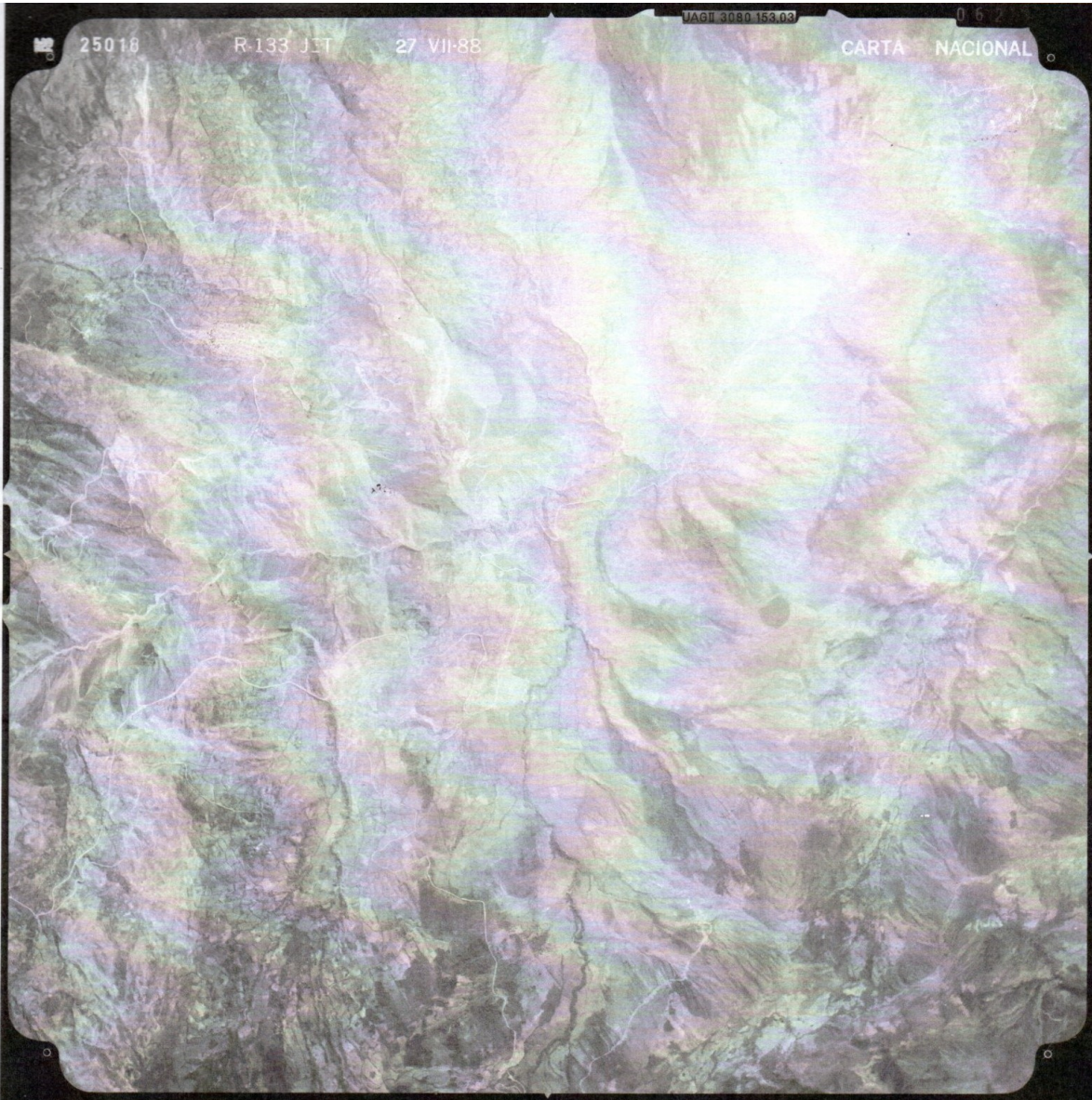




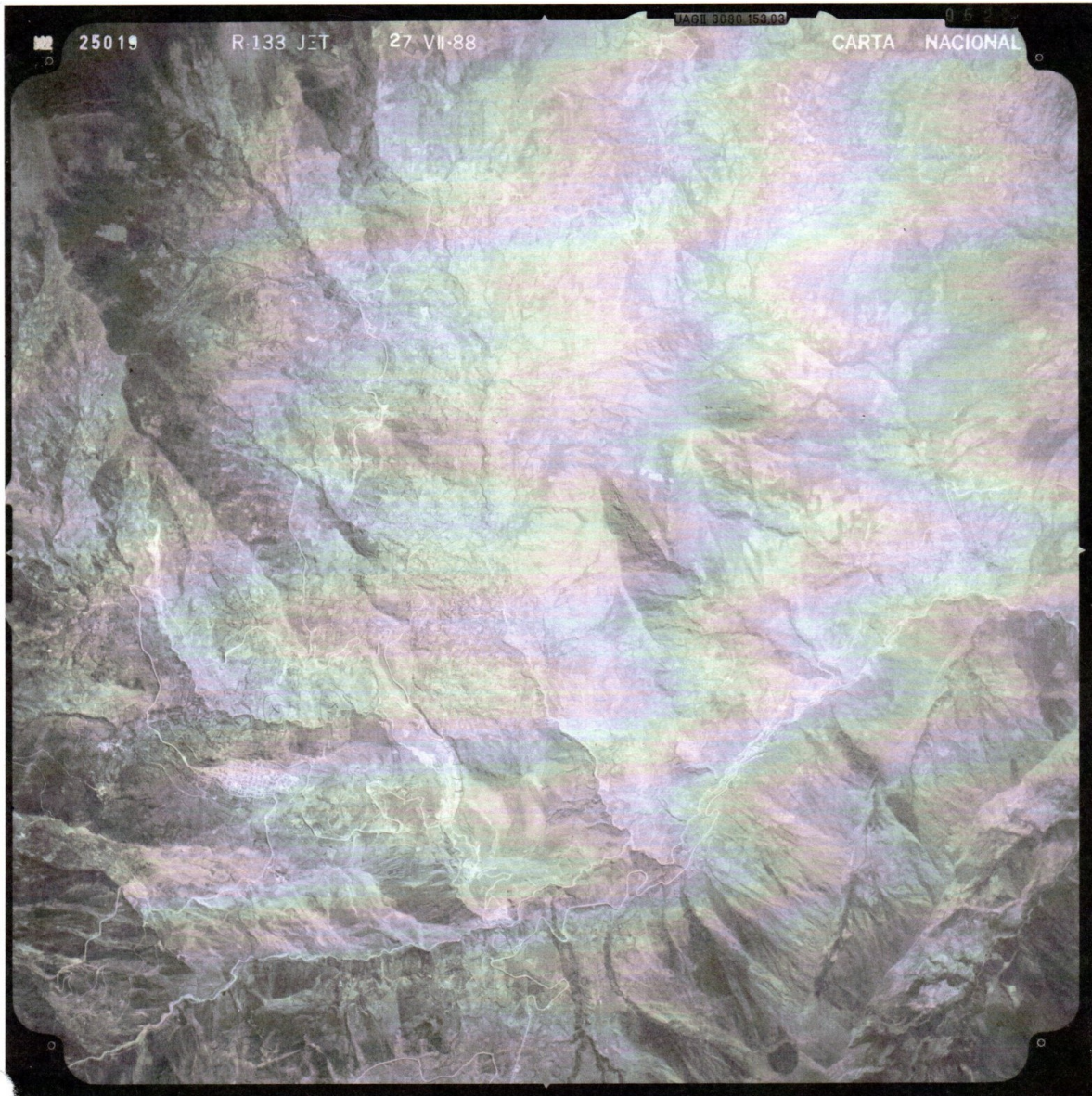




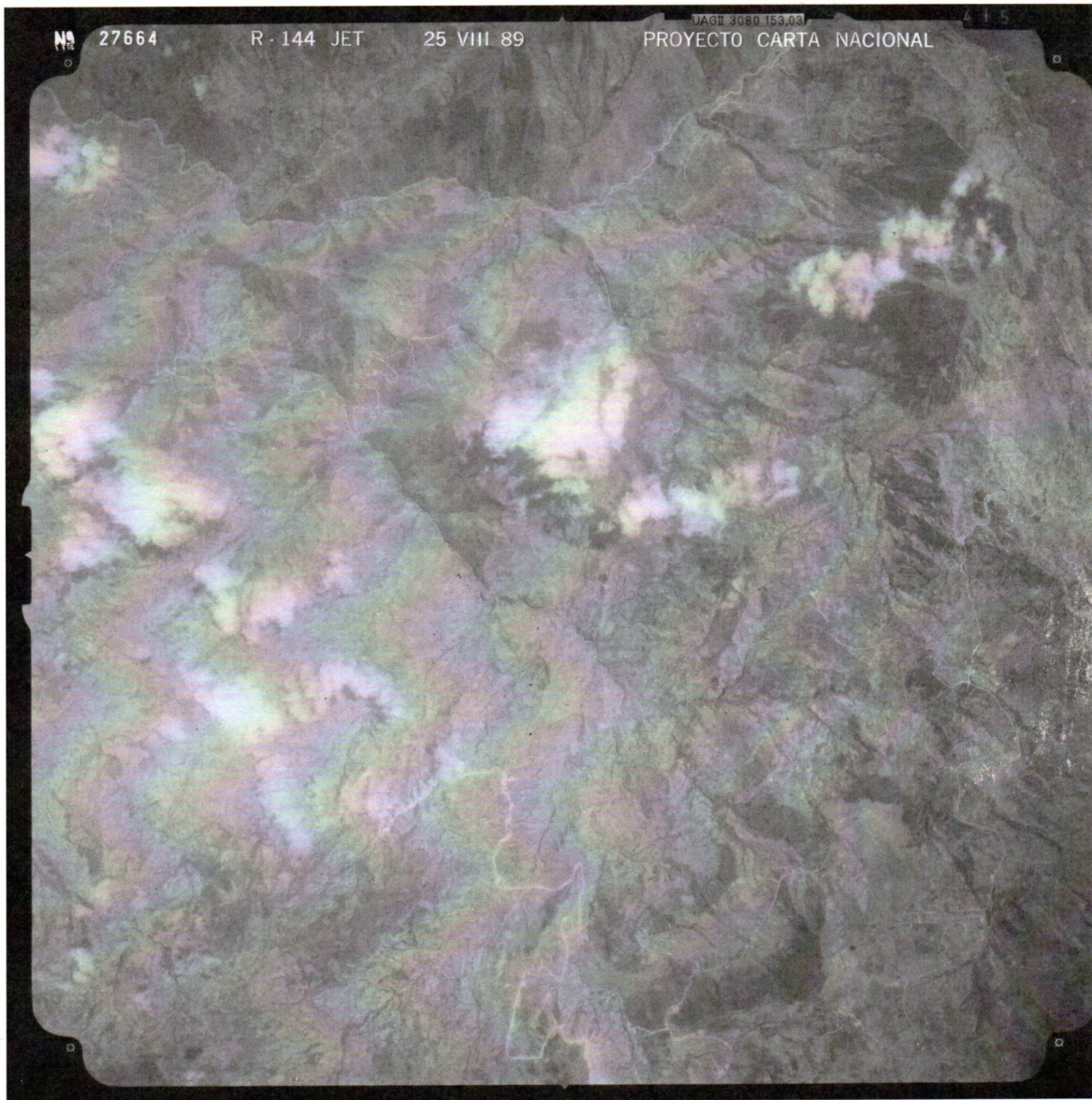












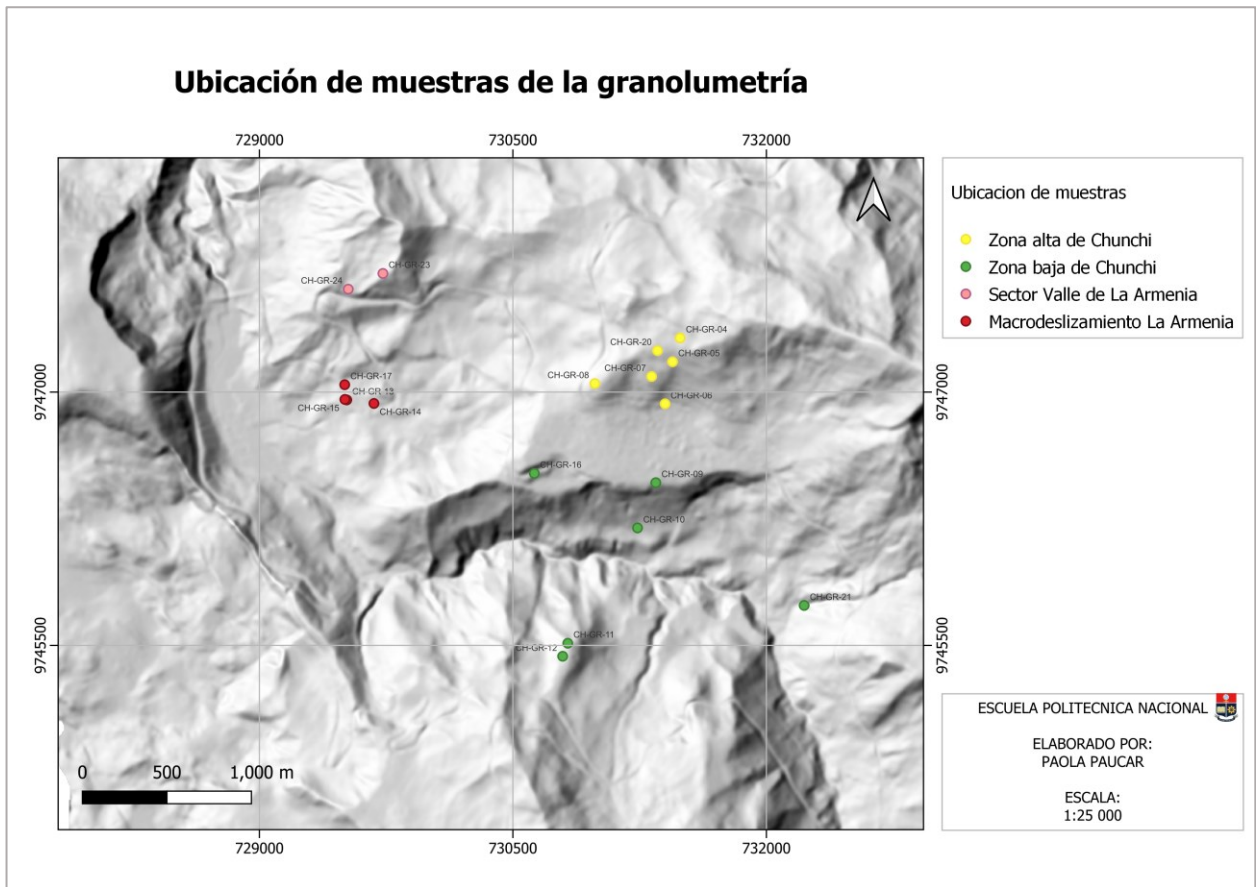


## 8.2 ANEXO II. Tabla de los datos de Granulometría

<b>CODIGO</b>	<b>Coordenada X</b>	<b>Coordenada Y</b>	<b>Fino (%)</b>	<b>Arena (%)</b>	<b>Grava (%)</b>
CH-GR-04	731490	9747321	87.72	5.21	7.06
CH-GR-05	731445	9747180	64.97	6.17	28.85
CH-GR-06	731401	9746931	68.58	19.57	11.83
CH-GR-07	731321	9747093	63.72	22.99	13.28
CH-GR-08	730985	9747051	11.13	55.69	33.16
CH-GR-09	731346	9746464	39.33	30.64	30.01
CH-GR-10	731238	9746196	54.99	20.89	24.11
CH-GR-11	730825	9745513	31.89	30.38	37.72
CH-GR-12	730795	9745436	53.1	8.1	38.78
CH-GR-13	729517	9746954	18.14	30.49	51.35
CH-GR-14	729678	9746933	44.85	50.09	5.05
CH-GR-15	729506	9746957	4.58	30.58	64.83
CH-GR-16	730627	9746519	55.65	40.28	4.05
CH-GR-17	729505	9747044	31.73	23.46	44.79
CH-GR-20	731356	9747246	50.36	25.21	24.42
CH-GR-21	732224	9745737	14.28	40.42	45.29
CH-GR-23	729731	9747703	53.63	26.49	19.87
CH-GR-24	729526	9747610	34.81	48.91	16.27

<b>Color</b>	<b>Zona</b>
	Zona alta de Chunchi
	Zona baja de Chunchi
	Sector Valle de la Armenia
	Macrodeslizamiento de la Armenia

### 8.3 ANEXO III. Mapa de Ubicación de muestras de la granulometría



## 8.4 ANEXO IV. Fotografías del proceso de granulometría



a) Lavado de la muestra para eliminar el material fino



b) Tamizado por 6 tamices de diferente tamaño #: 4, 10, 20, 40, 140, 200